DIE WISSENSCHAFT

Sammlung naturwissenschaftlicher und mathematischer Monographien

Heft 41

DER WELTÄTHER

VON

SIR OLIVER LODGE

ÜBERSETZT
VON
HILDE BARKHAUSEN

MIT 17 TEXTABBILDUNGEN UND EINER TAFEL

BRAUNSCHWEIG

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDR. VIEWEG & SOHN

1911

ANKÜNDIGUNG.

Lodge entwickelt in diesem Buche die Ansicht, die er sich auf Grund eigener und fremder Experimente und auf Grund theoretischer Überlegungen über die Natur des Weltäthers gebildet hat: die Ansicht, daß der Äther eine kontinuierliche, inkompressible, ruhende Ursubstanz sei, mit einer Dichte von 10^{12} gr/ccm und einer inneren Energie von 10^{33} Erg/ccm. Er wendet sich sowohl an den Laien, dem er bei Vermeidung aller Mathematik durch einfache, handgreifliche Beispiele die schwierigen Begriffe zu veranschaulichen sucht, als auch an den Physiker, der eine kritische Zusammenstellung der bisher ausgeführten Versuche über die relative Bewegung zwischen Äther und materiellen Körpern und in den Schlußkapiteln eingehendere theoretische Erörterungen und Folgerungen findet.

Braunschweig, im September 1911.

Friedr. Vieweg & Sohn.

DIE WISSENSCHAFT

SAMMLUNG
NATURWISSENSCHAFTLICHER UND MATHEMATISCHER
MONOGRAPHIEN

EINUNDVIERZIGSTES HEFT

DER WELTÄTHER

VON

SIR OLIVER LODGE

ÜBERSETZT VON HILDE BARKHAUSEN

MIT 17 TEXTABBILDUNGEN UND EINER TAFEL

BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDR. VIEWEG & SOHN
1911

ER WELTÄTHER

VON

SIR OLIVER LODGE

ÜBERSETZT
VON
HILDE BARKHAUSEN

MIT 17 TEXTABBILDUNGEN UND EINER TAFEL

FVS
1786

BRAUNSCHWEIG
RUCK UND VERLAG VON FRIEDR. VIEWEG & SOHN
1911

VO

D

seiner
reizt a
ergreif
zu den
untersc
Kennt

U

VORWORT ZUR ENGLISCHEN AUSGABE.

Die Erforschung des Weltäthers, seiner Natur und
ner Eigenschaften, hat mich schon seit langem mehr ge-
t als irgend ein anderes Gebiet der Physik, und ich
reife daher mit Freuden die Gelegenheit, die Ergebnisse,
denen ich bis jetzt in bezug auf diesen großen, vielleicht
rschöpflichen Gegenstand gelangt bin, hier zur allgemeinen
ntnis zu bringen.

Universität Birmingham, März 1909.

Oliver Lodge

Einleitun

I. De
II. De
III. De
IV. Ex
V. Ei
VI. Di
VII. W
VIII. Ä
IX. K
X. A

1. A
2.
3.

INHALTSVERZEICHNIS.

		Seite
[Einl]eitung.	Allgemeines und Historisches	1
	Der Lichtäther und die moderne Theorie des Lichtes	4
	Der Äther im Weltenraume als verbindendes Medium	11
	Der Einfluß der Bewegung bei verschiedenen Erscheinungen	21
	Experimentelle Versuche über den Äther	30
	Ein spezieller Versuch über die Viskosität des Äthers	46
	Die Dichte des Äthers	56
	Weiteres über die Dichte und die Energie des Äthers	60
	Äther und Materie	67
	Kraft im Äther	78
	Allgemeine Theorie der Aberration	85
Anhang.	Über Gravitation und Ätherspannung	96
„	Berechnungen mit Hilfe der Ätherdichte	99
„	Fresnels Gesetz als Spezialfall einer allgemeinen Potentialfunktion	104

Lodge, Der Weltäther. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig.

Apparat zur Untersuchung der Viskosität des Äthers.

lzerner Balken, der auf gemauerten, mit dem Fußboden nicht ammenhängenden Pfeilern ruht und den optischen Rahmen trägt.

tischer Rahmen mit Spiegeln, Fernrohr und Kollimator; die ei letztgenannten Instrumente sind auf der Rückseite des Bildes, ıer nicht sichtbar.

.ken, der eine leichte, polierte Trommel trägt, dazu bestimmt, ı Luftstrom der rotierenden Scheiben aufzufangen, damit die egel nicht davon getroffen werden.

inerner Aufbau, der durch den Fußboden durchgeht und bis n Sandsteinfelsen reicht, und in den die Rotationsmaschine fest gelassen ist. Vorn darauf sieht man Amperemeter, Voltmeter l einen Kohleregulierwiderstand, auf den Mr. Davies seine nd legt.

ktromotor zum Antreiben der Stahlscheiben, die durch den ischen Rahmen verdeckt sind. Es ist eine Mather- und Platt-ıamo mit in Öl tauchenden Lagern, eigens für hohe Geschwindig-;en gebaut. Sie wurde mit 110 oder 220 Volt und mit einem ɔme bis zu 30 Amp. betrieben.

sten mit einem Quecksilberzentrifugal-Geschwindigkeitsmesser, dem die Höhe der Quecksilbersäule angenähert die Umdrehungs-l pro Minute angibt.

e Personen auf dem Bilde sind von links nach rechts: Sir Lodge, Mr. B. Davies, erster Assistent, und Mr. George ler verstorbene Mitinhaber der Reederfirma Lamport u. Holt ·pool.

„Ä
eine ma
Stoffe,
Räume
So
für die
De
mit der
mente“
förmig
Äther
Substa
N
welche
sonder
muß z
Körper
denn s
Auszu
über d
„
zylind
die Z
Zylind
einem
das T
meter
die G
Lo

Einleitung.

„Äther (αἰθήρ wahrscheinlich von αἴθω, ich brenne) — ist
materielle Substanz feinster Art, feiner als alle sichtbaren
e, von der man annimmt, daß sie alle die scheinbar leeren
ne erfüllt.“

So fängt der Artikel „Äther“ an, den James Clerk Maxwell
lie 9. Auflage der Encyclopaedia Britannica geschrieben hat.

Der Ursprung des Wortes scheint auf eine Ideenverbindung
dem Begriffe „Feuer“ hinzuweisen, da die anderen drei „Ele-
e“ Erde, Wasser und Luft den festen, flüssigen und gas-
igen Zustand der gewöhnlichen Materie darstellen. Der Name
r deutet eine viel feinere, durchdringendere, übermaterielle
tanz an.

Newton benutzt das Wort als Bezeichnung für ein Medium,
nes den ganzen Raum erfüllt, nicht nur den scheinbar leeren,
ern auch den scheinbar besetzten Raum; denn der Lichtäther
zweifellos auch zwischen den Atomen eines durchsichtigen
ers vorhanden sein, muß sozusagen seine Poren ausfüllen,
sonst könnte ja das Licht nicht hindurchdringen. Der folgende
ug aus Newtons Schriften zeigt, was für Vermutungen er
dieses Medium gehabt hat.

„18. Frage. Wenn in zwei großen, hohen umgestülpten Glas-
dern zwei kleine Thermometer so aufgehängt sind, daß sie
Zylinder nicht berühren, und wenn aus einem der beiden
der die Luft ausgepumpt wird und nun beide Zylinder von
n kalten Orte an einen warmen gebracht werden, dann wird
Thermometer in vacuo ebenso warm werden wie das Thermo-
r, das nicht in vacuo ist, und fast ebenso schnell. Und wenn
Gefäße an den kalten Ort zurückgebracht werden, so erkaltet

das Thermometer in vacuo fast ebenso rasch als das andere. Wird die Wärme im Vakuum nicht vielleicht durch Schwingungen eines Mediums übertragen, das viel feiner ist als Luft und das im Vakuum zurückbleibt, wenn die Luft ausgepumpt wird? Und ist es vielleicht dasselbe Medium, das auch das Licht fortpflanzt und durch dessen Schwingungen das Licht in den Körpern Wärme erzeugt? ... Und sind nicht vielleicht die Schwingungen dieses Mediums bei der Intensität und Dauer der Wärme eines heißen Körpers mitbeteiligt? Und übertragen heiße Körper ihre Wärme nicht vielleicht dadurch an sie berührende kalte, daß sie Schwingungen dieses Mediums aussenden, die sich in den kalten Körpern fortpflanzen? Und muß dieses Medium nicht sehr viel feiner sein als Luft, und sehr viel elastischer und aktiver? Und muß es nicht alle Körper leicht durchdringen? Und ist es nicht vielleicht (durch seine elastische Kraft) im ganzen Himmelsraum verbreitet?“

„22. Frage. Könnten sich Planeten und Kometen und alle anderen großen Körper in dem ätherischen Medium, das den ganzen Raum ohne alle Zwischenräume gleichmäßig erfüllt und folglich viel dichter ist als Quecksilber und Gold, nicht vielleicht leichter und widerstandsloser bewegen als in irgend einer Flüssigkeit? Und könnte der Widerstand nicht so klein sein, daß er überhaupt gar nicht in Betracht käme? Nehmen wir z. B. an, der Äther — so will ich das Medium nennen — sei 700000 mal elastischer als Luft und über 700000 mal so dünn, so wäre sein Widerstand 600000000 mal kleiner als der des Wassers. Und ein so geringer Widerstand würde in 10000 Jahren kaum eine merkliche Änderung in der Planetenbewegung hervorrufen.“

Als Beweis dafür, daß der Äther, wenn es so etwas Ähnliches im Raume gibt, mit Leichtigkeit in die Körper eindringen und durch sie hindurch kann, ist schon oft der Versuch mit dem Heben des Quecksilbers im Barometer angeführt worden; das Quecksilber steigt in dem Rohre und füllt das durchsichtige Vakuum aus. Alles spricht für eine vollkommene Durchdringungsfähigkeit des Äthers, wenn er überhaupt existiert.

Doch sind das veraltete Gedanken. Elektrizität und Magnetismus haben uns weiter geführt, in ein Gebiet, wo mehr sicheres Wissen herrscht, so daß ich imstande bin, eine Ansicht zu vertreten, nach welcher der Äther nicht nur allgegenwärtig und all-

hdringend, sondern dabei auch über alle Begriffe fest und
riell ist. Er erweist sich als der weitaus materiellste Stoff —
eicht als der einzige materielle Stoff — des ganzen Univer-
s. Im Vergleiche zu Äther sind die dichtesten Stoffe, wie
und Gold, nur von ganz zarter, lockerer Struktur; etwa wie
Kometenschweif, oder wie die Milchstraße, oder wie ein Salz
ner sehr verdünnten Lösung.

Die folgenden Kapitel haben den Zweck, diese Idee der
rialität des Äthers und ihre große noch wenig anerkannte
tigkeit klarzulegen und zu rechtfertigen. Einige davon sind
h Erweiterung aus Notizen entstanden, die ich mir für ver-
dene Vorträge, hauptsächlich in The Royal Institution, ge-
t habe, während das erste Kapitel ein Vortrag ist, den ich in der
nolean Society der Universität Oxford im Juni 1889 gehalten
. Ein Kapitel (Kap. II) ist schon im Druck erschienen als
eines Anhanges zu der dritten Auflage von „Modern Views of
tricity“ und außerdem im „Fortnightly“ und in „North Ameri-
Review“; die anderen Kapitel sind noch nicht veröffentlicht,
auch Teile davon, weiter ausgearbeitet, in wissenschaftlichen
ern erschienen sind.

Das Problem der Ätherbeschaffenheit und seiner teilweisen
vandlung zu Atomen oder anderen Bausteinen der gewöhn-
n Materie ist noch nicht gelöst. Es ist von verschiedenen
ematikern schon viel dazu getan worden, aber viel mehr
t noch zu tun übrig. Und bis dahin ist etwas Skeptizismus
ändlich, vielleicht sogar nützlich. Indessen wird es wohl
ge Physiker geben, die nicht mit dem vorletzten Satze in
Artikel „Äther“ von Clerk Maxwell, dessen Anfang früher
rt wurde, übereinstimmten:

„Wie schwer es aber auch für uns sei, uns eine einheitliche
tellung von der Beschaffenheit des Äthers zu bilden, so kann
kein Zweifel darüber bestehen, daß der Planeten- und Sternen-
nicht leer, sondern mit einem materiellen Stoffe oder Körper
lt ist, der sicher der ausgedehnteste und wahrscheinlich der
eitlichste von allen uns bekannten Körpern ist.“

Erstes Kapitel.

Der Lichtäther und die moderne Theorie des Lichtes.

Die älteste und am besten bekannte Eigenschaft des Äthers ist seine Fähigkeit, das Licht fortzupflanzen, weshalb ihm auch der Name „Lichtäther" beigelegt wurde, obwohl heutzutage schon viele andere Eigenschaften an ihm bekannt sind, und sicher noch mehr entdeckt werden.

Es ist am besten, wir fangen damit an, aus den Erscheinungen des Lichtes alles das zu lernen, was Aufschluß über die Eigenschaften des Weltäthers geben kann.

Seit fast einem Jahrhunderte besitzen wir eine Wellentheorie des Lichtes, und eine Wellentheorie ist für das Licht auch ganz gewiß das Richtige. Man kann direkt zeigen, daß das Licht aus Wellen irgend welcher Art besteht, und daß diese Wellen sich mit einer bestimmten, genau bekannten, Geschwindigkeit fortpflanzen; sie legen in 1 Sek. einen Weg zurück, der siebenmal so lang ist wie der Erdumfang; die Strecke von New York bis London und zurück durcheilen sie in $^1/_{30}$ Sek., und von der Sonne zur Erde brauchen sie nur 8 Min. Diese zeitliche Fortpflanzung einer periodischen Störung setzt notwendig ein Medium voraus. Wenn Wellen, die von der Sonne ausgehen, 8 Min. lang im Raume bestehen, bevor sie unser Auge treffen, so muß in diesem Raume notwendig ein Medium vorhanden sein, in dem sie auftreten und das sie fortpflanzt. Es gibt keine Wellen, wenn nichts da ist, was Wellen bildet.

Kein gewöhnlicher Stoff ist imstande, irgend welche Wellen auch nur angenähert mit Lichtgeschwindigkeit fortzupflanzen: die Wellengeschwindigkeit in der Materie ist die Schallgeschwindigkeit, welche ungefähr $^1/_{1\,000\,000}$ der Lichtgeschwindigkeit beträgt. Darum muß das lichtübertragende Medium eine Substanz von ganz besonderer Art sein und wird mit dem Namen Äther bezeichnet. Der Name Lichtäther wurde ihm beigelegt, weil die Lichtübertragung früher die einzige Fähigkeit war, die man an ihm kannte; jetzt, wo man weiß, daß er noch allerlei anderes zu leisten vermag, kann man diese spezielle Bezeichnung fallen lassen. Da aber das Wort Äther noch für eine bekannte organische

bindung gebraucht wird, so mag man zur Unterscheidung übermaterielle, lichtübertragende Medium „Weltäther“ nennen.

Daß das Licht eine Wellenbewegung des Äthers ist, ist iß; aber was versteht man unter dem Worte Welle? Der , glaube ich, stellt sich darunter etwas vor, was auf und ab , oder vielleicht auch etwas, was an der Küste brandet. Fragt einen Mathematiker, was eine Welle ist, so wird er wahrinlich antworten, daß die Welle eine Funktion von x und y t ist, die im allgemeinsten Falle durch die Differentialchung:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = v^2 \frac{d^2 y}{dx^2}$$

gestellt wird, während die einfachste Welle heißt:

$$y = a \sin(x - vt).$$

glicherweise verweigert er jede andere Antwort.

Und es ist auch vollkommen berechtigt, wenn er jede andere wort verweigert; denn das **ist** es, was man unter dem Worte le versteht; was weniger allgemein ist, umfaßt nicht alles.

In die gewöhnliche Sprache übersetzt, stellt diese Antwort kt, kurz und vollständig alle Details einer „sowohl räumlich zeitlich periodischen Störung“ dar. Alles, was solcherart fach periodisch ist, heißt Welle; und alle Wellen — seien es allwellen in der Luft, Lichtwellen im Äther oder Meereswellen der Wasseroberfläche — sind in dieser Definition mit inriffen.

Was für Eigenschaften muß ein Medium haben, damit es len fortpflanzen kann? Wir können sagen, im wesentlichen i: Elastizität und Trägheit. Elastizität in irgend einer Form r etwas damit Gleichwertiges, um Energie aufnehmen und der zurückgeben zu können; Trägheit, damit die Substanz irgend einer Störung über das Ziel hinausschießt und infolgeen um die Gleichgewichtslage ins Pendeln kommt. Jedes lium, das diese zwei Eigenschaften hat, kann Wellen übergen, und mit einiger Sicherheit kann man auch umgekehrt sagen, ein Medium keine Wellen fortpflanzen kann, wenn es diese i Eigenschaften **nicht** in irgend einer Form besitzt oder andere n gleichwertige. Soll aber diese letzte Behauptung gelten, nuß man die zwei Worte Elastizität und Trägheit in ihrer

weitesten Bedeutung auffassen, so daß darin jede nur irgend mögliche Art der Energieaufnahme und jede nur irgend mögliche Art, Bewegungen beizubehalten, mit inbegriffen ist.

Das Gesagte kann man an vielen Beispielen erläutern, am einfachsten an einem federnden Stabe, der an einem Ende befestigt ist. Biegt man ihn nach einer Seite aus, so sucht seine Elastizität ihn zurückzutreiben; läßt man ihn los, so bewirkt seine Trägheit, daß er über seine ursprüngliche Lage hinausschwingt. Trägheit ist die Kraft, über das Ziel hinauszuschießen, oder genauer: die Kraft, sich eine Zeitlang entgegen der treibenden Kraft zu bewegen, die Kraft, bergauf zu fließen.

Diese zwei Ursachen zusammen bewirken, daß die Feder hin und her schwingt, bis ihre Energie erschöpft ist. Das ist eine Störung, die nur zeitlich periodisch ist. Eine Störung, die zeitlich und räumlich periodisch ist, erhält man, wenn man eine ganze Reihe solcher Federn in gleichen Abständen befestigt und eine nach der anderen in regelmäßigen Zeitabständen in Bewegung setzt; das wäre in unzusammenhängender Weise das Bild einer Welle. Eine Reihe von Pendeln, regelmäßig angestoßen, liefert ganz ebenso das Beispiel und Bild einer Wellenbewegung, das auch von dem unbefangensten Zuschauer sofort als solches erkannt wird. Daß die Federreihe Elastizität und Trägheit besitzt, ist unverkennbar; und jedes Medium, das Wellen fortleitet, muß ebenfalls Elastizität und Trägheit in irgend einer Form besitzen.

Doch nun wird man weiter fragen: was ist denn dieser Äther, der solche Schwingungen beim Lichte ausführen soll? Was entspricht hier dem elastischen Hin- und Herschwingen der Feder oder des Pendels? Was entspricht der Trägheit, kraft welcher Feder und Pendel über das Ziel hinausschießen? Kennen wir diese Eigenschaften des Äthers noch von anderer Seite her?

Die Antwort hat Clerk Maxwell zum ersten Male gegeben und sie ist seitdem in allen bedeutenden Laboratorien der Welt wiederholt und durch Versuche bekräftigt worden; sie lautet:

„Die elastische Verschiebung entspricht einer elektrostatischen Ladung, oder, grob ausgedrückt, der Elektrizität."

„Die Trägheit entspricht dem Magnetismus."

Das ist die Grundlage der modernen elektromagnetischen Theorie des Lichtes.

Ich will versuchen, die Bedeutung dieser Sätze dadurch zu klären, daß ich sie auf einige von den fundamentalen elek-schen Erscheinungen anwende.

Der alte, wohlbekannte Vorgang des Ladens einer Leidener asche, die Energieansammlung in einem Dielektrikum, über-upt jede elektrostatische Ladung entspricht vollkommen dem sbiegen unserer Feder. Die Elastizität des Äthers wird dabei nutzt, um ein Bestreben zur Rückbewegung hervorzurufen. s Loslassen der Feder entspricht der Entladung der Flasche: s gespannte Dielektrikum gibt nach, die elektrostatische Störung rt auf. In fast allen elektrostatischen Versuchen kommt die astizität des Äthers klar zum Vorschein.

Nun zur Trägheit. Wie würde man es am besten veran-aulichen, daß z. B. Wasser Trägheit besitzt, d. h. also die genschaft hat, Bewegung beizubehalten, auch wenn sich Hinder-se in den Weg stellen, die Eigenschaft, kinetische Energie fnehmen zu können? Am klarsten dadurch, daß man einen asserstrom nimmt und versucht, ihn plötzlich zum Stillstand zu ngen. Öffnet man einen Wasserhahn weit und schließt ihn nn plötzlich, so macht sich die Wucht oder das Moment des gehaltenen Wassers durch einen starken Stoß gegen den Hahn nerkbar, was wohl jedermann bekannt ist. Diese Stoßkraft Wassers wird von den Ingenieuren beim hydraulischen Widder nutzt.

Genau analog dazu ist in der Elektrizität eine Erscheinung, Faraday „den Extrastrom“ nannte.

Erzeugt man durch einen elektrischen Strom in einem Stück en einen starken Magnetismus, etwa dadurch, daß man Draht-dungen um das Eisen legt, und unterbricht dann ganz plötz- den Strom, so springt ein starker Funke über; das heißt so-., als daß das aufgestaute magnetische Moment die isolierende ftschicht durchbricht. Der wissenschaftliche Name für diese ktrische Trägheit ist „Selbstinduktion“.

Wir können kurz sagen, daß fast alle elektromagnetischen rsuche die Trägheit des Äthers zeigen.

Kehren wir nun zu unserer Leidener Flasche zurück und en zu, was geschieht, wenn sie, oder überhaupt irgend ein ge-ener Leiter, entladen wird. Die Rückbewegung des gespannten lektrikums verursacht einen Strom, die Trägheit dieses Stromes

bewirkt, daß er über das Ziel hinausschießt, und für einen Augenblick ist die Ladung der Flasche von entgegengesetztem Vorzeichen; der Strom fließt nun zurück und ladet die Flasche wieder so auf, wie sie zuerst war; dann kehrt der Strom wieder um, und das geht so weiter in schneller Folge mit abwechselndem Laden und Umkehren der Ladung, bis die ganze Energie in Wärme verwandelt ist. Der Vorgang ist genau derselbe wie beim Loslassen einer gespannten Feder oder Saite.

Aber der Körper, der so entladen wird, ist eingebettet in dem alles durchdringenden Äther, und wir sahen eben, daß der Äther die zwei zur Fortpflanzung von Wellen nötigen Eigenschaften besitzt, nämlich Elastizität und Trägheit oder Dichte; darum wird eine sich entladende Leidener Flasche im Äther Wellen, d. h. Licht, erzeugen, ganz ebenso wie eine schwingende Stimmgabel in der Luft Wellen erzeugt, den Schall.

Ätherwellen können daher tatsächlich durch direkte elektrische Mittel hervorgerufen werden. Ich entlade hier eine Flasche und das Zimmer ist für einen Augenblick mit Licht erfüllt. Mit Licht, sage ich, obwohl man nichts sieht. Man sieht und hört zwar den Funken, aber das ist bloß eine sekundäre Störung, die vorerst unbeachtet bleiben kann. Was ich meine, ist keine sekundäre Erscheinung; ich meine die wirklichen Ätherwellen, die in der Nähe des sich entspannenden Dielektrikums auftreten, ausgesandt von den elektrischen Schwingungen. Biegt man die Zinke einer Stimmgabel aus und läßt sie zurückschnellen, so treten Schwingungen auf und es entsteht ein Ton. Ladet man eine Leidener Flasche auf und entladet sie dann, so treten Schwingungen auf und es entsteht Licht.

Es ist Licht, so gut wie jedes andere Licht. Es wandert mit derselben Geschwindigkeit, es wird nach denselben Gesetzen reflektiert und gebrochen; jeder optische Versuch kann auch mit dieser, durch Elektrizität hervorgerufenen Ätherstrahlung ausgeführt werden, und doch sieht man sie nicht. Warum nicht? nicht das Licht ist daran schuld — wenn es eine Schuld ist —, sondern das Auge. Die Netzhaut ist für diese Schwingungen unempfindlich, sie sind zu langsam. Ungefähr 100000 bis 1 Mill. Schwingungen in der Sekunde entstehen bei der Entladung einer großen Leidener Flasche, aber für die Netzhaut ist das noch zu wenig. Sie spricht nur auf 400 bis 700 Bill. Schwingungen in

r Sekunde an. Für das Ohr wieder sind die Schwingungen zu
hnell; das Ohr spricht nur auf 40 bis 40000 Schwingungen in
r Sekunde an. Zwischen den schnellsten hörbaren und den lang-
msten sichtbaren Schwingungen war bisher eine große Lücke,
e nun von den elektrischen Schwingungen in weitgehendem
aße ausgefüllt wird. Die Lücke bestand deshalb solange, weil
r einfach kein Sinnesorgan besitzen, mit dem wir Strahlen
ischen 40000 und 400 Bill. Schwingungen per Sekunde wahr-
hmen können. Es war daher ein unerforschtes Gebiet. Die
ellen waren immer da, aber wir ahnten nichts von ihnen und
achteten sie daher nicht.

Zufällig ist es mir selbst gelungen, so langsame elektrische
hwingungen darzustellen, daß sie hörbar waren; die langsamsten,
e ich im Jahre 1889 erhielt, waren 125 in der Sekunde; bei
eser Anzahl und noch etwas darüber senden die Funken einen
usikalischen Ton aus; aber bis jetzt ist es noch niemandem ge-
ngen, direkt sichtbare elektrische Schwingungen hervorzurufen.
direkt tut es jeder beim Anzünden einer Kerze.

Es hat gar keine Schwierigkeiten, einen elektrischen Oszil-
tor zu bauen, der 300 Mill. mal in der Sekunde schwingt und
therwellen von 1 m Länge aussendet. Die ganze Schwingungs-
ihe zwischen den musikalischen Tönen und einigen Tausend
illionen pro Sekunde ist nun ausgefüllt.

Mit den großen Kondensatoren und Selbstinduktionen, die
i der modernen Kabeltelegraphie verwendet werden, kann man
ne Reihe von wundervoll gleichmäßigen, allmählich abgedämpften
ektrischen Schwingungen mit einer Periode von 2 oder 3 Sek.
halten, die mit einem gewöhnlichen Empfangsapparat oder mit
nem siphon-recorder aufgezeichnet werden.

Diese elektromagnetischen Wellen im Raume sind theoretisch
it dem Jahre 1865 bekannt; das Interesse daran wuchs sehr
sch nach der Entdeckung eines Empfängers oder Detektors für
eselben. Im Jahre 1888 machte Hertz diese große, wenn
ch einfache Entdeckung eines „elektrischen Auges", wie Lord
elvin es nannte, und damit war erst die Möglichkeit gegeben,
e Wellen zu untersuchen. Wir besitzen seitdem eine Art von
instlichem Sinnesorgan, um sie wahrzunehmen, eine elektrische
nordnung, die jene zwischenliegenden Schwingungen gleichsam
ehen" kann.

Später fand Branly, daß metallisches Pulver einen sehr empfindlichen Detektor darstellt, und auf dieser Entdeckung beruht der „Cohärer“, den ich benutzte, um Signale durch elektrische, d. h. also Ätherwellen, in die Ferne zu übertragen, und den ich noch heute benutze, wo die vielen anderen bei den verschiedenen Systemen der drahtlosen Telegraphie verwendeten Detektoren zur Verfügung stehen. Alle optischen Versuche lassen sich mit den Hertzschen Wellen ausführen. Sie werden durch ebene Metallflächen reflektiert, durch parabolische Reflektoren konzentriert, durch Prismen gebrochen und durch Linsen gesammelt. Ich habe z. B. eine große Linse aus Pech konstruiert, die über drei Zentner wog, um die Wellen im Brennpunkt zu vereinigen [1]). Man kann sie interferieren lassen und dadurch ihre Wellenlänge genau messen. Von elektrischen Leitern werden sie aufgehalten, von Isolatoren durchgelassen; Metalle sind also undurchsichtig für sie; Isolatoren überraschend durchsichtig, auch wenn sie nicht vollkommen isolieren, wie Holz oder Stein; man kann daher bei geschlossenen Türen Wellen von einem Zimmer ins andere senden.

Die wahre Natur der metallischen Undurchsichtigkeit und der Durchsichtigkeit war aus der Maxwellschen Lichttheorie schon lange bekannt und die elektrisch erzeugten Wellen veranschaulichen und beweisen nur wohlbekannte Tatsachen. Der Hertzsche Versuch ist tatsächlich eine Verherrlichung der Maxwellschen Theorie.

So wurde denn Clerk Maxwells prächtige Vorstellung oder mathematische Ableitung von der wahren Natur des Lichtes vom Jahr 1865 in jeder Weise glänzend bestätigt; und zum ersten Male besitzen wir nun eine wirkliche Theorie des Lichtes, die nicht mehr auf Analogien mit dem Schall gegründet ist, oder auf angenommenen Eigenschaften einer hypothetischen Gallerte oder eines elastischen festen Körpers, sondern die auf ihren eigenen festen Grundlagen zusammen mit Elektrizität und Magnetismus aufgebaut ist.

Licht ist eine elektromagnetische Störung des Äthers. Die Lehre des Lichtes ist ein Zweig der Elektrizitätslehre. Ungelöste

---

[1]) Lodge and Howard, Philosophical Magazine, Juli 1889. Phil. Mag., August 1888, S. 229.

chtprobleme können jetzt sofort gelöst werden, wo wir die ttel haben, bestimmtes Licht hervorzurufen, mit vollem Verindnis für das, was wir tun und für die Art der Schwingungen.

Es muß nur noch herausgefunden werden, wie man die ellen so weit verkürzen, die Schwingungen so weit beschleunigen nn, daß das Licht sichtbar wird. Es braucht dazu nichts iter als schnellere Schwingungsmethoden. Es müssen kleinere zillatoren verwendet werden, sehr viel kleinere: Oszillatoren, nicht viel größer sind als Moleküle. Das gewöhnliche Licht höchstwahrscheinlich — fast kann man sagen bestimmt — Folge von elektrischen Schwingungen der Atome oder Mole-le in einem heißen Körper, manchmal auch in einem kalten rper, wie im Falle der Phosphoreszenz.

Wenn wir einmal imstande sein werden, die nötige Frequenz rvorzubringen, so wird die direkte Erzeugung von sichtbarem :hte durch Elektrizität große praktische Folgen haben; ausarliches darüber findet man im XIV. Kapitel, § 149, des Werkes Iodern Views of Electricity". Aber hier wollen wir auf diese te unseres großen Gegenstandes nicht näher eingehen.

Zweites Kapitel.

er Äther im Weltenraum als verbindendes Medium.

Im vorigen Kapitel gab ich einen allgemeinen Überblick er den jetzigen Stand der Wellentheorie des Lichtes, und zwar n der theoretischen sowohl wie von der experimentellen Seite. e Lichtwellen sind nichts Mechanisches oder Materielles, sie d etwas Elektrisches und Magnetisches, es sind elektrische örungen, der Zeit wie dem Raume nach periodisch, die mit einer kannten ungeheueren Geschwindigkeit den Weltäther durch-en. Ihre Existenz beruht auf dem Äther, und ihre Geschwin-gkeit ist die bestbekannte und sicherste quantitative Eigenschaft s Äthers.

Das ist noch lange kein Zehntel von dem, was wir über den genstand wissen, und unser Wissen erstreckt sich nur über en kleinen Teil der entdeckbaren Tatsachen; aber das oben sagte kann als vollkommen gesichert gelten, obwohl Mechanik d gewöhnliche Dynamik darin fehlen und es daher aus jenem

ältesten, festesten und am besten ausgearbeiteten Gebäude der Physik, das nach Newtonschem Vorbilde errichtet worden ist, ausgeschlossen ist oder zu sein scheint.

Ich glaube, man ist heutzutage allgemein geneigt, den Wert von Überzeugungen zu unterschätzen, zu denen manche Naturphilosophen allmählich auf Grund ihrer Naturstudien gelangt sind, besonders wenn sich diese Überzeugungen auf unsichtbare und unfühlbare Dinge beziehen. Die Existenz eines kontinuierlich den Raum erfüllenden Mediums z. B. wird wahrscheinlich selbst von sehr gebildeten Leuten als eine mehr oder weniger phantastische Hypothese angesehen werden, als eine Erdichtung der wissenschaftlichen Einbildungskraft, als ein Mittel, um eine gewisse Zahl von beobachteten Tatsachen unter einen Hut zu bringen, aber nicht als etwas physikalisch Reelles, in dem Sinne, wie Wasser und Luft etwas Reelles sind.

Ich spreche hier vom Standpunkt der Physik aus. Es gibt noch einen anderen Standpunkt, nach dem die Realität der Materie rundweg geleugnet werden kann, aber mit diesen Fragen hat die Physik selbst nichts zu tun; sie läßt die Sinneseindrücke als richtig gelten und faßt die Sinne als Instrumente auf, mit denen der Mensch eine bestimmte Seite des Weltalls erfassen kann; den mit anderem Werkzeug ausgerüsteten Philosophen überläßt sie es, die übrigen Seiten zu erforschen, die das Weltall haben kann — nein, haben muß.

Eine physikalische Erklärung ist die klare Darstellung einer Tatsache oder eines Gesetzes durch Ausdrücke, die dem täglichen Leben entnommen und daher bekannt sind. Zwei scheinbar einfache Dinge sind uns allen von Jugend auf bekannt: Bewegung und Kraft. Wir haben direkte Sinne für diese beiden Dinge. Wir verstehen sie durchaus nicht gründlich, verstehen sie wahrscheinlich überhaupt nicht, aber wir sind an sie gewöhnt. Kraft und Bewegung sind die allerersten Dinge, die wir erfahren und über die wir uns Rechenschaft ablegen; durch Ausdrücke, die auf sie zurückführen, können alle weniger bekannten Vorgänge verständlich dargestellt werden. Wenn also irgend etwas dadurch klar und bestimmt ausgedrückt werden kann, so sagt man, es sei erklärt oder verstanden; man spricht von einer „dynamischen Theorie“ der Sache. Alles übrige sind nur provisorische oder partielle Theorien, Erklärungen des weniger Bekannten durch

kannteres; Kraft und Bewegung aber gelten in der Physik als
llständig bekannt und es wird kein Versuch gemacht, die Er-
irung noch weiter zu treiben. Eine dynamische Theorie gilt
gleich für notwendig und für hinreichend.

Es sei aber sogleich gesagt, daß wir bis jetzt nur von ganz
nig Dingen eine solche dynamische Erklärung besitzen. Es
ot z. B. keine für die Materie, keine für Schwerkraft, Elektri-
ät, Äther und Licht. Es wäre denkbar, daß es für einzelne
ser Dinge überhaupt niemals eine rein dynamische Erklärung
ben wird, weil vielleicht noch etwas anderes als Kraft und Be-
gung mit im Spiele ist. Aber die Physik muß das Suchen
ch Erklärung so weit als irgend möglich treiben. Solange sie
h nicht selbst durch bloße vage Phrasen täuscht — ein Fehler,
r dem sich ihre Vertreter gewaltig, oft bis zur Grausamkeit
neuen, indem sie lieber Gefahr laufen, wertvolle Ideen zu ver-
rfen, als irgend etwas Dunkles und Phantastisches auch nur
lbwegs anzuerkennen —, solange sie alle Erscheinungen ihres
reiches scharf prüft und trachtet, sie auf die Begriffe von Kraft
d Bewegung zurückzuführen — solange bewegt sie sich auf
herer Bahn. Ihr Mißerfolg bei gewissen Erscheinungen wird
dann schon lehren, was ihre Vertreter längst vermuten mußten:
ß es nämlich noch einen dritten, bis jetzt unbekannten Begriff
ot, mit dessen Hilfe die zukünftige Physik noch höhere Flüge
ch weiteren Zielen unternehmen wird.

Ich sagte, daß Kraft und Bewegung die zwei Dinge sind,
wir am besten und längsten kennen. Es gibt aber noch
vas Drittes, mit dem wir auch unser Leben lang in Berührung
d und das wir sogar noch unmittelbarer kennen, obwohl wir
s vielleicht erst später davon Rechenschaft geben, weil wir zu
f darin stecken — das ist Leben und Geist. Ich will hier
se Begriffe nicht definieren und keine philosophischen Unter-
chungen darüber anstellen, ob sie tatsächlich das nämliche be-
uten oder zweierlei sind. Sie existieren in dem Sinne, in
m wir uns erlauben das Wort „existieren“ zu gebrauchen; doch
d sie der Physik noch nicht einverleibt. Bis dahin werden sie
hr oder weniger vage bleiben; wie und wann sie einverleibt
rden können, das auch nur zu vermuten steht mir nicht zu.

Aber eines steht einem Physiker zu: darzulegen, wie er das
ltall sieht, seinem allgemeinen Charakter und seiner physika-

lischen Erscheinung nach. Ich würde bei einem solchen Versuche, um vollkommen klar zu sein, mit den einfachsten, fundamentalsten Ideen beginnen, damit ich imstande wäre, mit solchen allbekannten Tatsachen und Begriffen Prozesse zu erläutern, bei denen es sich um höhere, nicht so geläufige Vorstellungen handelt, in Regionen, von denen die Menschen nur so geringe Kenntnisse haben, daß sie als Verständigungsmittel nichts taugen.

Erste Bekanntschaft mit der äußeren Welt.

Mit unserem fundamentalsten Sinne beginnend, würde ich folgendes Bild entwerfen:

Wir haben Muskeln und können uns bewegen. Den Begriff Bewegung kann ich nicht analysieren — und zweifle auch, ob es ratsam wäre —, es ist einfach eine unmittelbare Wahrnehmung, ein direktes Gefühl freier, ungehinderter Muskeltätigkeit. Wir können uns freilich auch bewegen, ohne es zu fühlen, daraus lernen wir aber nichts; wir können uns jedoch mit Bewußtsein bewegen, und daraus lernen wir viel; daraus lernen wir die erste wissenschaftliche Folgerung, nämlich den Raum; das heißt einfach: Raum für die Bewegung. Wir könnten ebensogut das Gefühl haben, in einem eng gepackten Weltall eingekeilt zu sein, aber wir haben es nicht; es kommt uns geräumig vor.

Wir bleiben natürlich nicht bei dieser dürftigen Folgerung stehen. Der geübtere Geist erfaßt die Existenz des Raumes auch dort, wo er nicht direkt fühlbar ist; durch Beobachtung der Bewegung werden wir auf die Geschwindigkeit — die gleichförmige und die ungleichförmige — und damit auf den Begriff „Zeit“ oder gleichmäßige Reihenfolge geführt. Es folgen dann andere kompliziertere Begriffe, wie z. B. Beschleunigung u. dgl., durch eine Überlegung, auf die wir jetzt nicht näher einzugehen brauchen.

Doch unser Muskelgefühl beschränkt sich nicht auf die Wahrnehmung der freien Bewegung: wir fühlen auch beständig einen Widerstand dagegen. Diese „verhinderte Muskeltätigkeit“ ist auch ein direktes Gefühl, das Gefühl der Kraft, und jeder Versuch, diesen Begriff durch einen einfacheren zu erklären, hat ihn bis jetzt nur verwirrt. Unter „Kraft“ versteht man eine Muskeltätigkeit, die nicht von Bewegung begleitet ist. Unser Gefühl lehrt uns in bezug hierauf, daß im Raum zwar Platz ist,

3 er aber nicht leer ist; das führt uns zu unserer zweiten ssenschaftlichen Folgerung: zu dem, was wir Stoff nennen.

Und wieder bleiben wir nicht bei dieser bloßen Folgerung hen. Durch ein anderes Gefühl, das Schmerzgefühl, oder auch rch die einfache Empfindung, unterscheiden wir stoffliche Massen, augenscheinlich in engem Zusammenhange mit uns selbst hen, von anderen außerhalb befindlichen Massen; und wir ıutzen die ersteren als Maß für die letzteren. Der mensch-ıe Körper ist unser Größenmaß. Dann teilen wir den Stoff je ch dem Widerstand, den er unserer Muskelbewegung entgegen-zt, in vier verschiedene Klassen oder, wie die Alten sie ınten, in vier Elemente ein, nämlich: in festen, flüssigen, luft-migen und ätherischen Stoff. Der Widerstand, der beim festen ff ein sehr nachdrücklicher ist, geht beim gasförmigen in en fast unmerklichen über, und wird schließlich beim ätheri-en ein rein eingebildeter, imaginärer.

Der Äther beeinflußt unseren Tastsinn, d. i. also unseren ıftsinn, in keinerlei Weise; er setzt der Bewegung absolut nen Widerstand entgegen. Nicht nur unsere Körper bewegen ı frei darin, sondern viel größere Körper, Planeten und Kometen rcheilen ihn mit einer Geschwindigkeit, die wir gewaltig nennen il sie weit größer ist als die eines Wettläufers), ohne das geringste chen von Reibung zu zeigen. Ich selbst habe eine Reihe von pfindlichen Versuchen ausgedacht und ausgeführt, um zu sehen, eine kreisende Eisenmasse imstande sei, den Äther zu fassen l mitzureißen, wenn auch vielleicht nur mit dem tausendsten l ihrer eigenen Geschwindigkeit. Diese Versuche sollen später chrieben werden, aber das Resultat will ich hier vorweg-men. Die Antwort lautet: nein; ich kann keine Spur von chanischem Zusammenhang nach Art von Viskosität oder Reibung schen Stoff und Äther entdecken.

Wenn er aber so unfühlbar ist, warum sollen wir dann über-ıpt seine Existenz annehmen? Ist das Ganze nicht nur eine ıntastische Theorie, die sobald als möglich aus der Physik gemerzt werden sollte? Wären wir bei der Erkenntnis des ffes allein auf unseren Tastsinn angewiesen, dann würde Frage überhaupt niemals aufgeworfen worden sein; dann ten wir den Äther eben einfach nicht gekannt, so wie wir kein oen und keinen Geist im Weltall kennen, die nicht irgendwie

an Stoff gebunden sind. Aber unsere Sinne haben eine höhere Entwickelungsstufe erreicht. Wir erkennen den Stoff noch an anderen Dingen als an seinem Widerstande. Auf einen kleinen Teil unseres Körpers wirkt der Stoff in ganz anderer Weise: wir sagen, daß wir ihn schmecken. Er vermag ferner kleine Teilchen auszusenden, die wir, selbst in einiger Entfernung, wieder mit einem anderen feinen Sinne wahrnehmen. Oder aber er schwingt mit einer gewissen Geschwindigkeit und wieder ein anderer Körperteil reagiert darauf; das Weltall ist nicht stumm, sondern spricht zu denen, die Ohren haben, zu hören. Können noch mehr solche Entdeckungen gemacht werden? Ja; und einige sind bereits gemacht. Alle die genannten Sinne erzählen uns von der Gegenwart des gewöhnlichen Stoffes, des groben Stoffes, wie er manchmal genannt wird, obwohl durchaus nicht grob ist, was unseren Geruchssinn oder besser noch, den Geruchssinn eines Hundes reizt. Aber immerhin: mit den bisher genannten Sinnen hätten wir den Äther niemals wahrgenommen. Ein Blitzstrahl hätte unseren Körper in seine unorganischen Bestandteile auflösen können, oder ein Zitterrochen hätte uns einen sonderbaren Schmerz verursachen können; aber von diesen gewaltsamen Lehrern hätten wir nicht mehr gelernt als ein Schuljunge von dem früher stets bereiten Rohrstock lernte.

Zufällig ist nun unsere ganze Hautoberfläche noch in anderer Weise und ein kleines Stück davon sogar ganz erstaunlich fein empfindlich für einen Eindruck, der nicht notwendig mit dem gewöhnlichen Stoffe zusammenhängt, der auch in Räumen zustande kommt, aus denen alle festen, flüssigen und gasförmigen Körper entfernt wurden. Was fühlt man, wenn man seine Hand an das Feuer oder sein Gesicht in die Sonne hält? Etwas, was nicht durch gewöhnlichen Stoff übertragen wird; es ist das Äthermedium, was man fühlt, so direkt als dies überhaupt möglich ist. Sehr direkt ist der Vorgang allerdings nicht. Man kann den Äther nicht wie andere Stoffe durch Gefühl, Geruch oder Geschmack wahrnehmen: es ist so, als wenn wir mit dem Gehör allein uns eine Vorstellung von den Dingen zu machen hätten. Was unsere Haut und unser Auge fühlt, ist etwas den Ätherschwingungen Verwandtes.

Es kann mit Recht behauptet werden, daß es nicht die Ätherstörungen selbst sind, die wir mit unseren Wärmenerven fühlen, sondern andere Störungen, die durch die Ätherstörungen

seren Zellgeweben hervorgerufen werden; dasselbe gilt für e höher entwickelten und differenzierten Sehnerven. Alle n fühlen, was in ihrer unmittelbaren Nähe vor sich geht, anderes können sie nicht fühlen; aber die Strahlen, die he dieser Störungen, wanderten durch den Äther und durch irgend eine andere bekannte Substanz.

Soll man sagen, woher man dies weiß, so kann man nur kanntes wiederholen. Mit kurzen Worten: offensichtlich en Strahlen von der Sonne zu uns. Wenn in dem zwischen-den Raume irgend ein gewöhnlicher Stoff vorhanden wäre, ßte es ein ausnehmend dünnes Gas sein. Oder anders aus-ckt: der Stoff müßte aus zerstreuten Teilchen bestehen, von einige groß genug sein mögen, um Stoffklumpen genannt rden, andere so klein wie einzelne Atome, aber alle durch henräume voneinander getrennt. Solche diskrete Teilchen n aber kein Licht fortpflanzen. Es sei nebenbei bemerkt, gewöhnlicher Stoff in keinerlei Form, weder fest noch , noch gasförmig, imstande ist, etwas fortzupflanzen, was nit Lichtgeschwindigkeit bewegt und den bekannten Gesetzen ichtes gehorcht. Zur Übertragung von Strahlen oder Licht alle gewöhnlichen Stoffe ungeeignet, sogar im höchsten ungeeignet, ganz hoffnungslos ungeeignet. Wenn Strahlen aupt durch etwas fortgepflanzt werden, so muß es durch sui generis sein.

Und fortgepflanzt werden sie, denn sie brauchen Zeit für Weg, den sie mit einer bestimmten bekannten Geschwin-t zurücklegen; und die Störung ist eine zitternde oder lische, die unter die allgemeine Gattung der Wellenbewegung Nichts Gewisseres als das! Kein Physiker bestreitet es. on selbst, von dem gewöhnlich und mit Recht behauptet daß er eine andere Theorie aufgestellt habe, fühlte die Not-gkeit eines Äthermediums und wußte, daß das Licht haupt-ch aus Wellen besteht.

Das Sehen.

Es möge hier eine kleine Abschweifung eingefügt werden, n vermeiden, daß eine Unklarheit daraus entsteht, daß ich tlich Wärmenerven und Sehnerven miteinander in Verbin-gebracht habe. Sie sind anerkanntermaßen nicht dasselbe,

aber sie haben das gemeinsam, daß sie beide das Vorhandensein von Strahlen anzeigen; auch blind könnten wir allerlei von der Sonne wissen, und wenn unsere Temperaturnerven ungeheuer verfeinert wären (nicht am ganzen Körper, denn das wäre nur schmerzhaft, sondern an irgend einer geschützten Stelle), könnten wir sogar Mond, Planeten und Sterne kennen lernen. Tatsächlich, man könnte sich ohne Schwierigkeiten ein Auge vorstellen, das aus einer Pupille (oder besser einer Linse) in einer Höhlung besteht mit einer dahinterliegenden wärmeempfindlichen Fläche. Ein solches Auge wäre außerordentlich wirksam, wirksamer als ein lichtempfindliches Auge, denn es könnte jedes Erzittern des Äthers erkennen, das von den Gegenständen seiner Umgebung ausgeht, und es könnte daher auch im sogenannten „Dunkeln“ vollkommen gut sehen. Wahrscheinlich würde es nur viel zu viel sehen für unseren Geschmack, da jeder Strahl einfach proportional seiner Energie darauf wirkt; es müßte denn mit einer Reihe von passenden absorbierenden Schirmen versehen sein. Aber was für Vorteile und Nachteile ein solches Organ auch haben mag — wir besitzen eben bis jetzt noch keines. Unser Auge reagiert nicht auf Wärme, das heißt: nicht alle Ätherschwingungen wirken darauf, sondern nur ein ganz kleiner, scheinbar unbedeutender Teil davon. Ätherschwingungen von Schallfrequenz bleiben vom Auge völlig unbeachtet, und von Schwingungen, die in die 30 bis 40 höheren Oktaven fallen, merkt unser Organismus überhaupt nichts; erst ganz oben in der unfaßlichen Höhe von 400 bis 700 Bill. Schwingungen per Sekunde — eine Zahl, welche nur ganz wenig erreichbare Körper von selbst aussenden können, und die hervorzurufen Kenntnis und Geschick erfordert —, erst hier wird das Auge empfindlich für Wellen, und zwar auf ganz ungemein scharfe und verständnisvolle Weise.

Dieser winzige Bruchteil der ganzen Strahlung ist an sich ganz unbedeutend und zu vernachlässigen. Wenn die Menschen und Glühwürmer und sonst noch ein paar Lebewesen nicht wären, so würden diese Strahlen auf unserer bescheidenen Erdmasse kaum vorkommen. Außer gelegentlich bei einem Vulkane oder einem Blitzschlage, haben nur so riesige Körper wie die Sonne und die Sterne Energie genug, um diese höheren flötenähnlichen Töne hervorzubringen; nur durch Kraft und Gewalt bringen sie dieselben hervor — Gewalt ihrer Gravitationsenergie — und dabei

entstehen nicht nur diese, sondern gleichzeitig auch alle anderen Arten von Strahlen. Die Glühwürmer allein haben, soviel ich weiß, das Geheimnis der physiologisch wirksamen Wellen ergründet.

Warum diese Wellen physiologisch wirksam genannt werden, warum sie das sind, was wir „Licht“ nennen, während andere Strahlen „dunkel“ sind, das sind Fragen, die man stellen muß, aber nur versuchsweise beantworten kann. Die letzte Antwort steht dem Physiologen zu; denn der Unterschied zwischen Licht und nicht Licht kann nur durch Ausdrücke erklärt werden, die sich auf das Auge und seine sonderbar spezialisierte Empfindlichkeit beziehen; aber der Physiker kann dem Physiologen einen Wink geben. Die Ätherwellen, die auf das Auge und auf die photographische Platte wirken, sind von einer Größenordnung, die nicht mehr so ganz unvergleichlich ist mit der Atomgröße der gewöhnlichen Stoffe. Wenn aber eine physikalische Erscheinung mit den Grundatomen eines Stoffes in Verbindung gebracht wird, so wird sie heutzutage meistens in das Wissensgebiet verwiesen, das man mit dem Titel Chemie bezeichnet. Das Sehen ist wahrscheinlich ein chemischer Sinn. Die Netzhaut enthält vielleicht komplizierte Atomverbindungen, die durch die Lichtschwingungen zerstört und durch das lebende Gewebe, in welchem sie schweben, sofort wieder aufgebaut werden, während die Nervenenden ihren zeitweise zerstörten Zustand wahrnehmen. Ein vager Gedanke! Er soll auch nur als brauchbare Hypothese zugelassen sein, die zur Untersuchung der Tatsachen führt. Immerhin gibt er die Richtung an, nach der die Gedanken mancher Physiker wandern und auf die viele, kürzlich entdeckte Tatsachen hindeuten[1]).

Gravitation und Kohäsion.

Auf einige andere Erscheinungen, für die ein kontinuierliches Medium zur Übertragung nötig ist, sei hier nur kurz hingewiesen. Im achten Kapitel werden wir hören, daß technisch eine Wirkung in die Ferne unmöglich ist. Ein Körper kann unmittelbar nur dann auf einen anderen einwirken, wenn er in Berührung mit ihm steht; eine Kraft kann nur dadurch im Raume

---

[1]) Siehe Lodge, Modern Views of Electricity, sections 157 A, 43, 187 and chap. XVI.

übertragen werden, daß benachbarte Teilchen aufeinanderwirken — also praktisch durch ein kontinuierliches Medium. Die Sonnenstrahlen sind nicht das einzige, was die Erde von der Sonne fühlt; sie fühlt auch ihre enorme Anziehungskraft, eine Kraft oder einen Druck, größer als 1 Bill. Stahlstangen, jede von 17 Fuß Durchmesser, tragen können (siehe neuntes Kapitel). Was für ein Mechanismus übermittelt diese Riesenkraft? Nimmt man eine Stahlstange und streckt sie mit Gewalt — mit welcher Zähigkeit hängen ihre Teile zusammen! Und das, trotzdem ihre Teilchen sich nicht vollständig berühren, sondern nur durch das allverbindende Medium, den Äther, miteinander verkettet sind, ein Medium, das imstande sein muß, den größten Zug oder Druck zu übertragen, der bei Gravitation und Kohäsion auftritt.

Elektrizität und Magnetismus.

Bis jetzt habe ich mich hauptsächlich auf die Wahrnehmung des Äthers vermittelst unseres alten Strahlensinnes beschränkt, womit wir das feine, leichte Erzittern erkennen können. Aber wir bekommen nun einen neuen Sinn; kein wirkliches Sinnesorgan, aber etwas Ähnliches, wenn auch seine Bestandteile nicht mit unserem Körper durch die gewöhnlichen Bande von Schmerz und Unbehagen verknüpft sind; etwas von der Art falscher Zähne oder künstlicher Gliedmaßen, das beim Mechaniker käuflich ist.

Elektroskope, Galvanometer, Telephone — das sind feine Instrumente; sie erreichen zwar unsere körperlichen Sinnesorgane mit ihrer erstaunlichen Empfindlichkeit noch nicht ganz, aber in einigen Fällen sind sie schon in meßbare Nähe gelangt. Und nun, was können wir mit diesen Instrumenten tun? Können wir den Äther damit riechen oder fühlen? oder was ist die beste Analogie dafür? — Eine Analogie gibt es kaum, und trotzdem stehen wir in Verkehr mit dem Äther, in engem Verkehr. Noch wissen wir selbst nicht genau, was wir dabei tun. Wir haben noch keine dynamische Theorie des elektrischen Stromes, der statischen Ladungen und des Magnetismus. Wir haben auch noch keine dynamische Theorie des Lichtes. Der Äther ist noch nicht unter die Herrschaft der einfachen Mechanik gebracht worden, es ist noch nicht gelungen, ihn auf Kraft und Bewegung zurück-

zuführen: wahrscheinlich deshalb, weil er in bezug auf Kraft so merkwürdig schwer zu fassen ist, daß es noch die Frage ist, ob wir ihn überhaupt als materiell ansehen sollen. Bis jetzt steht er also außerhalb der Mechanik; es ist nicht undenkbar, daß er überhaupt außerhalb stehen bleibt, und daß die erste Erweiterung, welche die Grundlagen unserer Physik doch eines Tages erfahren müssen, sich auf den Äther beziehen werden. Bevor wir solch eine Erweiterung haben, können wir nicht daran denken, Lebensprozesse oder geistige Prozesse zu ergründen. Vielleicht wird alles zugleich eintreffen.

Wie dem auch sei, auf jeden Fall ist dies der versteckte Sinn des Satzes, daß wir noch nicht wissen, was Elektrizität und was Äther ist. Wir haben bis jetzt für keines von beiden eine dynamische Erklärung, aber das vergangene Jahrhundert hat eine geradezu überwältigende Fülle von darauf bezüglichen Tatsachen angesammelt. Wenn unser jetziges Jahrhundert oder das nächstfolgende uns in ihre Geheimnisse und in die Geheimnisse einiger anderer Erscheinungen, die eben eingehend untersucht werden, tiefer eindringen läßt, so wird es meinem Gefühle nach kein rein materieller Ausblick sein, der sich uns eröffnen wird, sondern wir werden einen Schimmer von jenem Bereiche des Weltalls erblicken, das die Wissenschaft noch nie betreten hat, das aber Dichter und Maler, Philosophen und Heilige von weitem gesucht und vielleicht blind erfaßt haben.

Drittes Kapitel.

Der Einfluß der Bewegung bei verschiedenen Erscheinungen.

Trotz seiner rein physikalischen Natur ist der Äther doch ganz unfühlbar und für unsere Sinne unzugänglich; es ist daher ungemein schwierig, ihn zu untersuchen. Viele Versuche sind schon gemacht worden, um irgend eine Erscheinung zu entdecken, die auf seine Bewegung relativ zur Erde Bezug hat. Die Erde bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 19 Meilen pro Sekunde um die Sonne; allerdings ist diese Geschwindigkeit nur klein im Vergleich mit der Lichtgeschwindigkeit — ungefähr der zehntausendste Teil davon —, aber trotzdem wäre es möglich, gewisse Verände-

rungen an optischen Erscheinungen zu beobachten, die durch diese relative Ätherbewegung verursacht würden.

Eine solche Erscheinung ist auch wirklich bekannt: die Aberration der Sterne, die Bradley im Jahre 1729 entdeckte. Die Stellung von Körpern, die nicht auf der Erde und nicht mit dem Sonnensystem verbunden sind, wird scheinbar im Verhältnis 1:10000 durch die Erdbewegung verändert; daß heißt, die scheinbare Stellung eines Sternes ist von seiner wahren Stellung um $^1/_{10000}$ Radiant[1]) oder ungefähr 20 Bogensekunden verschoben.

Diese astronomische Aberration ist wohlbekannt. Aber eine Reihe von anderen Erscheinungen knüpfen daran an und auf diese soll näher eingegangen werden. Denn wenn der Äther ruht, während die Erde schneller als eine Kanonenkugel durch ihn hindurchfliegt — so viel schneller als eine Kanonenkugel wie ein Schnellzug schneller eilt als ein Fußgänger —, so ist es für alle praktischen Zwecke dasselbe, als ob die Erde stillstände und der Äther in entgegengesetzter Richtung mit dieser enormen Geschwindigkeit daran vorbeiströmte. Und auf den ersten Blick wird man sicherlich irgend welche Folgen von solch einem Vorbeisausen erwarten. Man könnte z. B. zweifeln, ob Vermessungen auf der Erde mit der erwarteten äußersten Genauigkeit ausgeführt werden können, ohne daß man den heftigen Sturm des lichtübertragenden Mediums am Theodoliten vorbei und durch ihn hindurch berücksichtigt.

Wir wollen daher die Sache näher betrachten.

Aberration.

Jeder Mensch weiß, daß man vor einen Vogel zielen muß, wenn man ihn im Fluge schießen will, und jeder wird sofort zugeben, daß man hinter ein sitzendes Kaninchen zielen muß, um es von einem fahrenden Zuge aus zu treffen.

Das sind Beispiele für das, was vom Gesichtspunkte des Gebers oder der Quelle aus „Aberration“ genannt wird. Die Aberration oder die nötige Abweichung des Zielpunktes von dem

---

[1]) Radiant ist der von Prof. James Thomson eingeführte Name eines Winkelmaßes; es ist der Winkel, dessen Bogen gleich dem Radius ist, ungefähr 57°.

roffenen Körper hat in dem Fall, wo der Empfänger sich bewegt, gegengesetztes Vorzeichen als im zweiten Fall, wo die Quelle 1 bewegt. Es kann daher möglich sein, daß, wenn beide in vegung sind, sich die zwei Aberrationen gegenseitig aufheben. ein Kaninchen zu treffen, das neben dem Zuge herläuft, muß 1 gerade darauf zielen.

Wenn es keine Luft gäbe, so wäre das ganz einfach. Aber er Schütze hat schon einmal die schlimme Erfahrung gemacht, auch dann, wenn sowohl er als sein Ziel fest auf dem Boden 1en, wenn also eine wirkliche Aberration nicht möglich ist, daß h dann durch einen Luftstrom eine falsche Aberration ent-1en kann; man kann sie Abtrift nennen; will er sein Ziel fen, so muß er etwas gegen den Wind zielen.

Dies gilt für den Standpunkt des Schützen. Nun kommen zum Standpunkte der Zielscheibe.

Das Material, aus dem sie besteht, sei so weich, daß eine gel sie glatt durchschlagen kann, mit Hinterlassung eines glichen Loches. Wenn ein Mensch hinter der Scheibe — wir nen ihn Zieler nennen — gleich nach dem Schusse durch Loch blickt, so sieht er den Schützen und kann erkennen, der Erfolgreiche war. Ich weiß, daß das nicht gerade das : eines gewöhnlichen Zielers ist, aber dieses Amt ist voll-diger als sein gewöhnliches. Für gewöhnlich hat er nichts er zu tun, als einen ganz unpersönlichen Schuß anzuzeigen; der Schütze war, muß jemand anders angeben. Ich will besten eine Salve von Schüssen annehmen und dem Zieler Aufgabe erteilen, die Treffer mit Hilfe der Löcher an die effenden Schützen zu verteilen.

Nun frage ich: wird er das richtig tun? Vorausgesetzt rlich, daß er es könnte, wenn alles unverrückt stehen bliebe alle horizontalen und vertikalen Bahnkrümmungen vernach-gt werden. Wenn man nur richtig überlegt, so sieht man, der Wind kein Hindernis ist. Die Richtung des Loches : der Kugelbahn entlang auf den Schützen zu, obwohl sie t in seiner Zielrichtung liegt. Ebenso ist es, wenn von einem ffe, das in Bewegung ist, Schüsse auf eine feststehende ibe abgegeben werden: auch da wird die Lochrichtung auf Stelle deuten, welche die Kanone beim Abschießen einnahm, 1 sie sich auch nachher bewegt hat. In keinem von diesen

beiden Fällen (Medium in Bewegung oder Quelle in Bewegung) wird ein Fehler auftreten.

Aber wenn sich die Zielscheibe bewegt — sie befinde sich z. B. auf einem Panzerzuge —, dann zeigt der Zieler nicht mehr richtig. Das Loch deutet dann nicht mehr auf den, der geschossen hat, sondern auf jemand, der vor ihm steht. Die Quelle erscheint in Bewegungsrichtung des Beobachters verschoben. Das ist die gewöhnliche Aberration. Das einfachste Ding der Welt. Das beste Beispiel dafür ist, daß man den Regenschirm nach vorne neigt, wenn man in ruhigem Regen geht, oder daß die Tropfen das Gesicht treffen, wenn man keinen Regenschirm hat; genauer gesprochen trifft das Gesicht die Tropfen beim Vorwärtsgehen. Der Regen scheint daher aus einer Wolke vor uns zu kommen, anstatt aus einer Wolke über uns.

Wir haben also dreierlei Bewegungen zu beachten: Bewegung der Quelle, des Empfängers und des Mediums. Und von diesen drei Bewegungen kann nur die Bewegung des Empfängers einen Aberrationsfehler bei der Bestimmung des Standpunktes der Quelle verursachen.

Wir haben den Fall der Geschosse deshalb betrachtet, um einen Übergang für das Licht zu gewinnen. Das Licht besteht aber nicht aus Geschossen, sondern aus Wellen; und bei Wellen liegt die Sache etwas anders. Die Wellen wandern in ihrem eigenen ganz bestimmten Schritt durch ein Medium; sie können durch eine bewegte Quelle nicht vorwärts oder seitwärts geschleudert werden; sie bewegen sich nicht wie die Geschosse durch eine ihnen erteilte Triebkraft, die sie allmählich aufbrauchen; ihre Bewegung ist eher mit der eines Vogels oder eines anderen sich selbst bewegenden Tieres oder eines Ruderbootes zu vergleichen. So wie sich ein Ruderboot auf einem Flusse bewegt, so bewegt sich die Welle in einem bewegten Medium fort. Das Boot bewegt sich auf dem Wasser und treibt mit dem Wasser; die resultierende Bewegung ist aus diesen zwei Bewegungen zusammengesetzt, doch hat sie nichts mit der Bewegung der Quelle zu tun. Ein Geschoß, das von einem fahrenden Schiffe abgeschossen wird, behält sowohl die Schiffsbewegung wie auch die ihm von der Kanone erteilte bei. Es wird daher eine schräge Bahn durcheilen. Aber ein Boot, das von einem fahrenden Dampfer herabgelassen wird und fortrudert, behält nichts von der Bewegung der Quelle zurück; es wird

nicht geschleudert, es bewegt sich selbst. Das ist der Fall der Wellen.

Die Abbildung veranschaulicht den Unterschied. Fig. 1 stellt eine Kanone oder ein Maschinengewehr vor, das sich in der Richtung des Pfeiles bewegt und dabei eine Reihe von Geschossen abfeuert, die dadurch sowohl ihre eigene, wie auch die Bewegung der Kanone erhalten und daher in schräger Richtung fliegen. In dem Momente, wo der vierte Schuß D abgefeuert wird, hat das Geschoß 1 den Punkt A erreicht, daß Geschoß 2 den Punkt B und das Geschoß 3 den Punkt C. Die Linie $ABCD$ ist eine Verlängerung der Rohrachse, es ist die Ziellinie, aber nicht die Schußlinie; alle Geschosse weichen schräg davon ab, wie es die Pfeile anzeigen. Es sind daher zwei Richtungen zu unterscheiden: die Reihe der aufeinander folgenden Schüsse und die Bahn eines einzelnen Geschosses. Diese zwei Richtungen bilden einen Winkel. Man kann ihn Aberrationswinkel nennen, weil er von der Bewegung der Quelle herrührt, obwohl er keine Aberration zu verursachen braucht. Vom Empfänger aus kann die richtige Richtung wahrgenommen werden.

Fig. 1.

Um dies zu beweisen, wollen wir untersuchen, was an der Zielscheibe geschieht. Der erste Schuß soll bei A eindringen; wenn die Scheibe fest steht, wird er bei Y austreten. Ein Zieler, der in der Richtung YA blickt, sieht die Stelle, von wo aus der Schuß abgefeuert wurde. Das ist der Fall des ruhenden Beobachters, der einen bewegten Stern betrachtet. Er sieht ihn da, wo er war, als das Licht seine lange Reise antrat. Er sieht ihn nicht dort, wo er jetzt gerade ist, es ist aber auch kein Grund vorhanden, warum er das sollte. Er sieht ihn nicht in seinem jetzigen physikalischen Zustande, sondern er sieht ihn so, wie er war, als er die Nachricht absandte, die der Beobachter eben erhalten hat. Durch die Bewegung der Quelle wird also keine Aberration verursacht.

Nun soll sich aber der Empfänger mit derselben Geschwindigkeit bewegen wie die Kanone, was z. B. eintritt, wenn zwei

aneinandergebundene Schiffe aufeinander schießen. Der Punkt Y rückt durch die Bewegung der Zielscheibe vorwärts, und das Geschoß, das bei A eintritt, tritt nun bei Z aus, weil Z an die Stelle von Y rückt. In diesem Falle wird der Zieler, wenn er in der Richtung ZA schaut, die Kanone so sehen, wie sie jetzt gerade ist, nicht so, wie sie beim Abfeuern war. Gleichzeitig wird er auch gerade vor sich die Reihe der abgefeuerten Geschosse sehen. — Denselben Fall haben wir bei Beobachtung von Gegenständen, die sich auf der Erde befinden. Die Bewegung der Erde stört das gewöhnliche Sehen nicht.

Fig. 2 zeigt möglichst genau dasselbe Bild für ausgesendete Wellen. Das Rohr soll eine Quelle von periodischen Störungen ohne Triebkraft sein. Unter $ABCD$ mag man sich horizontal fliegende Vögel vorstellen, oder Wellenköpfe, oder sich selbst bewegende Torpedos; man kann sie aber auch als Geschosse auffassen, nur muß dann die Kanone im Moment des Abfeuerns in Ruhe gedacht werden und nur in den Zwischenzeiten in Bewegung.

Fig. 2.

Die Linie $ABCD$ ist hier weder die Schußlinie noch die Ziellinie, sondern einfach nur der geometrische Ort der Störungen, die von den aufeinanderfolgenden Stellungen 1, 2, 3, 4 ausgehen.

Eine feste Scheibe wird in der Richtung AY durchbohrt, und diese Richtung gibt die richtige Stellung der Quelle in dem Momente an, als die Störung von ihr ausging. Wenn sich die Scheibe bewegt, so tritt die bei A eintretende Störung, je nach ihrer Geschwindigkeit, bei Z oder an einem beliebigen anderen Punkte aus; die Linie ZA trifft nicht auf den ursprünglichen Platz der Störungsquelle, und darum tritt bei Bewegung der Zielscheibe Aberration auf. Ohne solche Bewegung keine Aberration.

Fig. 2 stellt auch einen parallelen Lichtstrahl dar, der von einer bewegten Lichtquelle ausgeht und in ein Fernrohr oder in das Auge eines Beobachters trifft. Der Strahl verläuft in der Richtung $ABCD$, aber es ist dies nicht die Sehrichtung. Die Sehrichtung wird für einen ruhenden Beobachter nicht durch den geome-

ischen Ort der aufeinanderfolgenden Wellen bestimmt, sondern ırch die Bahn jeder einzelnen Welle. Ein Strahl kann definiert erden als die Bahn einer einzelnen bestimmten Störung. Die hlinie ist $YA1$; sie fällt mit der Ziellinie zusammen, was beim eschoß (Fig. 1) nicht der Fall war.

Ganz interessant ist der Vorgang bei einem drehbaren Leucht-rme, der lange parallele Lichtstrahlen sehr rasch kreisen läßt. g. 3 mag die Vorstellung unterstützen. Die aufeinanderfolgen-n Störungen $ABCD$ liegen hier auf einer Spirale, der Spirale s Archimedes, und das ist die Form der Strahlen, wie man durch die erleuchteten Staubteilchen der Luft wahrnimmt, loch ist die Ganghöhe der Spirale so riesig, daß die Strahlen Gerade erscheinen. Im ersten Moment könnte man meinen, ß man den Leucht-rm etwas verschoben ıen müßte, wenn man ıgs diesen gekrümm-ı Strahlen blickt; aber m ist nicht so: die rklichen Strahlen oder rklichen Bahnen jeder örung sind auch wirklich radial; sie fallen mit dem scheinbaren ahl nicht zusammen. Ein Auge, das nach der Lichtquelle ckt, schaut nicht tangential dem Strahl entlang, sondern in r Richtung AQ, und sieht daher die Lichtquelle an ihrem htigen Orte. Bei Geschossen, die von einem Drehturm ab-feuert werden, wäre das anders.

Fig. 3.

Weder die Fortbewegung der Sterne, noch die Drehung der ıne kann also die Richtung bei der Ortsbestimmung beeinflussen. ange der Beobachter fest steht, gibt es keine Aberration.

Wie aber ist es mit dem Wind, oder einem anderen Medium, an Quelle und Empfänger, beide in Ruhe, vorbeiströmt? n betrachte wieder Fig. 1. Es werde angenommen, daß eine ihe von ruhenden Kanonen Geschosse abfeuern, die durch einen rken Wind auf die schräge Linie $1AY$ abgetrieben werden bei die Bahnkrümmung, die in Wirklichkeit auftritt, vernach-sigt sei), dann wird trotzdem das Loch in der Scheibe die htige Stellung der Kanone angeben; wenn der Zieler in der htung YA blickt, so sieht er die Kanone, die den Schuß ab-

gab. Vorausgesetzt, daß die Ablenkung überall gleichmäßig erfolgt, gibt es für den Empfänger keine wirkliche Abweichung, obwohl die Geschosse seitwärts geblasen werden und die Scheibe nicht gerade von der Kanone getroffen wird, die darauf gezielt hatte.

Bei einer bewegten Kanone mit Gegenwind würde Fig. 1 sich nahezu in Fig. 2 verwandeln.

(N. B. — In Wirklichkeit ist der Fall nicht so einfach, selbst wenn man alle Komplikationen, wie Rotationen u. dgl. beiseite läßt und nur die gekrümmte Bahn bei konstantem Winddrucke untersucht. Es gibt dann tatsächlich eine Aberration oder scheinbare Verschiebung der Quelle gegen die Windrichtung: eine scheinbare Übertreibung der in der Figur angedeuteten Windwirkung.)

In Fig. 2 ist die Wirkung des Windes fast dieselbe, obwohl die Einzelheiten verschieden sind. Es werde angenommen, daß das Medium nach abwärts über die Papierfläche streift. Die Quelle sei feststehend in Q. Die wagerechten Pfeile zeigen die Richtung der Wellen im Medium an, die punktierte schräge Linie ihre resultierende Richtung. Ein Wellenzentrum wird in derselben Zeit von D nach 1 getrieben, in der die Störung auf der schrägen Linie DA den Punkt A erreicht. Der Winkel zwischen der punktierten und der ausgezogenen Linie ist der Winkel zwischen Strahl und Wellennormale. Wenn sich nun das Medium innerhalb des Empfängers ebenso bewegt wie außerhalb, dann wird die Welle geradeaus längs der schrägen Linie nach Z wandern, und die wahre Richtung der Quelle ist damit bestimmt. Aber wenn sich das Medium innerhalb der Scheibe oder des Fernrohres nicht bewegt, so wird die Welle nach ihrem Eintritt nicht mehr abgetrieben, da sie ja geschützt ist; sie wird den Weg weiter verfolgen, den sie bis jetzt in dem Medium zurückgelegt hat, und bei Y austreten. In diesem Falle, wo also das Medium innerhalb des Fernrohres eine andere Geschwindigkeit hat als außerhalb, ist die scheinbare Richtung YA nicht die wirkliche Richtung der Quelle. Der Strahl wird tatsächlich beim Übergang zwischen Medien von verschiedener Geschwindigkeit gebrochen (siehe Fig. 4).

Eine Schicht von kleinerer Geschwindigkeit bricht einen in der Bewegungsrichtung einfallenden schrägen Strahl gerade so

e ein dichteres Medium. Eine Schicht von größerer Geschwin-
gkeit bricht ihn nach entgegengesetzter Richtung. Wenn ein
edium beides ist, dichter und schneller bewegt, so kann der Fall
ntreten, daß die beiden Brechun-
n gleich und entgegengesetzt
nd, dann geht der Strahl gerade
rch. Es sei nebenbei bemerkt,
ß dies nach Fresnels Theorie bei
em mit Wasser gefüllten Fern-
re eintritt, das dem allgemeinen
herstrome auf der Erde aus-
etzt ist.

Fig. 4.

In einem bewegten Medium
reiten die Wellen nicht in ihrer normalen Richtung fort, sondern
räg dazu. Die Richtung ihrer Bewegung wird Strahl genannt.
r Strahl fällt in einem be-
gten Medium nicht mit der
llennormale zusammen.

Fig. 5.

Aus Fig. 5 läßt sich alles
tlich erkennen.

Von einem ruhenden
ıkte Q gehen ununter-
chen kugelförmige Wellen
, die nach rechts getrieben
den. Die durch M gehende
lle hat ihren Mittelpunkt
C, und CM ist ihre Normale,
r die Störung M hat die
n QM durchlaufen, daher
QM der Strahl. Sie lief als
lle von Q nach P und wurde
P nach M abgetrieben. Die nacheinander ausgesandten Störun-
liegen auf dem Strahle, gerade wie in Fig. 2. Ein ruhendes Fern-
r, auf welches das Licht fällt, deutet genau nach Q. Ein Spiegel M,
den Strahl zum Ursprung zurückwerfen soll, muß senkrecht
Strahl, nicht tangential zur Wellenfläche aufgestellt werden.

Dasselbe Bild gilt auch für den Fall einer bewegten Quelle
inem ruhenden Medium. Die früher in C befindliche Quelle
sich, Wellen aussendend, bis Q bewegt; diese Wellen breiteten

sich kugelförmig um die jeweilige Lage der Quelle als Mittelpunkt aus. Wellennormale und Strahl fallen hier zusammen, denn QM ist jetzt kein Strahl, sondern nur der geometrische Ort aufeinanderfolgender Störungen. Ein ruhendes Fernrohr schaut nicht nach Q, sondern der Linie MC entlang nach dem Punkte, wo die Quelle war, als sie die Welle M entsandte. Ein Fernrohr, das sich mit derselben Geschwindigkeit bewegt wie die Quelle, zeigt nach Q. Darum wird QM manchmal der scheinbare Strahl genannt. Der Winkel QMC ist der Aberrationswinkel, den wir im zehnten Kapitel mit ε bezeichnen.

Fig. 6 zeigt die senkrechte Reflexion bei bewegtem Medium. Der Spiegel M wirft das Licht, das er von S_1 erhält, nach S_2 zurück und trifft hier gerade auf die Quelle, wenn dieselbe sich mit dem Medium mitbewegt.

Fig. 6.

Ich möchte nebenbei bemerken, daß der Strahl zu dem doppelten Wege $S_1 M S_2$ bei bewegtem Medium eine etwas andere Zeit gebraucht als zu dem Wege QMQ bei ruhendem Medium; hierauf beruht der berühmte Versuch von Michelson, auf den wir später zurückkommen.

Der Ätherstrom, von dem wir sprechen, muß immer nur als Strom in bezug auf die gewöhnliche Materie gedacht werden. Die absolute Geschwindigkeit der Körper ist ihre Geschwindigkeit gegenüber dem ruhenden Äther. Wenn es kein solches physikalisches Vergleichsmaß für Ruhe gäbe, wie es für uns der Äther ist, wenn alle Bewegung der Stoffe nur relativ zueinander wäre, dann hätte der Streit von Copernicus und Galilei keinen wirklichen Sinn.

Viertes Kapitel.

Experimentelle Untersuchungen über den Äther.

Wir sind zu folgendem Resultate gekommen: ein gleichmäßiges Strömen des Äthers im Raume verursacht keine Aberration, keinen Fehler bei den Richtungsbestimmungen. Die

Wellen werden wohl abgetrieben, aber die Visierlinie wird nicht gestört.

Es existiert wohl eine kosmische Aberration, aber sie hängt von der Bewegung des Beobachters ab, und nur von dieser. Ätherbewegung hat keinen Einfluß darauf; und wenn der Beobachter relativ zu dem beobachteten Objekte in Ruhe ist, wie dies bei Anwendungen des terrestrischen Fernrohres der Fall ist, so gibt es überhaupt keine Aberration.

Die Genauigkeit von Erdvermessungen wird durch Existenz eines allgemeinen Ätherstromes nicht im geringsten beeinträchtigt, und daher können Erdvermessungen auch nicht dazu verwendet werden. um einen solchen Strom zu entdecken.

Doch ist zu beachten, daß alles darauf ankommt, daß die Bewegung überall gleichförmig ist, sowohl im Fernrohr selbst als auch außerhalb; überhaupt längs der ganzen Bahn des Strahles. Wenn der Äther an einer Stelle in Ruhe ist, so muß er es überall sein; es darf keine Grenze geben zwischen ruhendem und bewegtem Äther, keinen Übergang, auch keine schnellere Bewegung an irgend einer Stelle. Denn, um zu wiederholen, was schon zu Fig. 4 gesagt wurde, wenn der Äther innerhalb des Empfängers in Ruhe, außerhalb in Bewegung ist, so wird eine Welle nicht mehr abgetrieben, sobald sie in den Empfänger eintritt und wird hier einfach in Richtung der Wellennormale fortschreiten. Infolgedessen wird im allgemeinen ein Strahl an der Grenze zwischen zwei Geschwindigkeiten gebrochen, und ein Beobachter, der in Richtung des Strahles schaut, wird die Lichtquelle nicht an ihrem richtigen Orte sehen, auch nicht einmal an dem scheinbaren Orte, wie es seine eigene Bewegung verlangt, sondern etwas dagegen zurückgeblieben.

Eine solche Aberration, ein Zurückbleiben oder negative Aberration ist noch nie beobachtet worden; wenn es aber Übergänge zwischen den Ätherschichten gibt, wenn die Erde Ätherteile mitreißt, oder wenn der Äther, falls er in Bewegung ist, nicht überall in allen durchsichtigen Körpern dieselbe Geschwindigkeit hat, dann muß ein solches Zurückbleiben oder eine negative Aberration eintreten, und zwar genau in dem Verhältnis, in dem das Mitreißen des Äthers durch den bewegten Körper erfolgt (vgl. S. 42).

Wenn sich aber der Äther wie eine nicht zähe, vollkommen reibungslose Flüssigkeit verhält, oder wenn aus irgend einem anderen Grunde zwischen ihm und bewegten Körpern keine Reibung besteht, so daß die Erde gar keinen Äther mitreißt, dann sind alle Strahlen gerade, die Aberration hat ihren bestimmten bekannten Wert, und wegen der Erdbewegung leben wir in einem Ätherstrome von 19 Meilen pro Sekunde.

Die Vorstellung, daß eine so große Masse wie die Erde mit dieser enormen Geschwindigkeit durch ein Medium fliegen soll, ohne es zu stören, mag einige Schwierigkeit verursachen. Bei einer gewöhnlichen Kugel in einer gewöhnlichen Flüssigkeit wäre es auch unmöglich. An der Oberfläche einer solchen Kugel findet ein zähes Anhaften statt, und eine wirbelnde Bewegung geht dadurch auf die Flüssigkeit über, so daß die Energie des bewegten Körpers allmählich aufgebraucht wird. Das Fortbestehen der Bewegung von Erde und Sternen zeigt, daß die Viskosität des Äthers nur sehr klein sein kann, wenn es überhaupt eine gibt; oder wenigstens, daß nur ein sehr kleiner Bruchteil der Energie dadurch verloren geht. Aber wenn auch die wirkenden Kräfte klein sind, so ist damit noch nicht gesagt, daß nicht doch eine beträchtliche Ätherschicht an der Erde anhaftet und sich mit ihr bewegt.

Die Frage ist also folgendermaßen zu stellen:

Reißt die Erde Äther mit sich, oder fliegt sie vollkommen frei durch den Äther? (Die Erdatmosphäre braucht hierbei nicht berücksichtigt zu werden; sie spielt nur eine untergeordnete, zur Genüge bekannte Rolle.)

Mit anderen Worten: ist der Äther in der Nähe der Erde vollkommen oder teilweise in Ruhe[1]), oder strömt er mit der entgegengesetzten Erdgeschwindigkeit von 19 Meilen pro Sekunde an uns vorbei? Wenn wir in einem Ätherstrome von dieser Geschwindigkeit lebten, dann, sollte man meinen, müßten wir imstande sein, irgend ein Zeichen seiner Existenz zu entdecken.

Das Entdecken ist nicht so leicht, wie man glauben könnte. Wir haben gesehen, daß keine Ablenkungen oder Richtungsfehler dadurch entstehen; es wird aber auch kein Farbenwechsel oder Dopplereffekt dadurch verursacht, d. h. keine Veränderung der Spektrallinien. Ein gleichförmiger Wind kann die Tonhöhe nicht

[1]) In Ruhe in bezug auf die Erde.

eeinflussen, weil er ganz einfach nicht imstande ist, die Wellen em Ohre schneller zuzuführen, als sie ausgesendet werden. Er eibt sie wohl vorwärts, zieht sie aber im selben Maße auseinander, nd das Resultat ist, daß sie mit derselben Frequenz ankommen, it der sie ausgegangen sind. Der Einfluß der Bewegung auf e Tonhöhe läßt sich scharf wie folgt zusammenfassen:

Frequenzänderung durch Bewegung.

Wenn sich die Schwingungsquelle nähert, werden die Wellen rkürzt.

Wenn sich der Empfänger nähert, ändert sich ihre relative eschwindigkeit.

Wenn das Medium strömt, so ändert sich beides, Wellennge und Geschwindigkeit, und zwar so, daß sie sich genau gegentig aufheben.

Was für Erscheinungen könnten sonst noch durch Bewegung ftreten? Hier eine Liste:

Erscheinungen, die durch Bewegung hervorgerufen werden.

1. Eine scheinbare oder wirkliche Richtungsänderung, die rch das Fernrohr zu beobachten ist und Aberration gennt wird.

2. Eine scheinbare oder wirkliche Frequenzänderung, die rch das Spektroskop zu beobachten ist und Dopplereffekt gennt wird.

3. Eine scheinbare oder wirkliche Änderung der Wegzeiten, durch Nachhinken der Phase oder Verschiebung der Interenzstreifen zu beobachten ist.

4. Eine scheinbare oder wirkliche Intensitätsänderung, die rch die Energieaufnahme einer Thermosäule zu messen ist.

Wir sind also bis jetzt zu dem folgenden Resultate gelangt: Die Bewegung der Schwingungsquelle sowohl, wie die des npfängers kann die Frequenz ändern; die Bewegung des npfängers kann die scheinbare Richtung ändern; die Bewegung Mediums kann keines von beiden.

Aber es fragt sich, ob sie nicht vielleicht eine Welle so chleunigen kann, daß dieselbe außer Tritt kommt mit einer

zweiten Welle, die auf anderem Wege an dasselbe Ziel gelangt, und daß dadurch Interferenzerscheinungen hervorgerufen oder vorhandene verändert werden?

Oder ob die Wellen stromabwärts nicht vielleicht reichlicher ziehen als stromaufwärts, so daß zwei Thermosäulen, in gleicher entgegengesetzter Entfernung von der Schwingungsquelle aufgestellt, ungleich beeinflußt werden?

Und noch eins: vielleicht sind die Gesetze der Reflexion und Brechung in einem bewegten Medium andere wie in einem ruhenden. Außerdem ist auch die Doppelbrechung in Betracht zu ziehen, und die Farben dünner und dicker Blättchen, der Polarisationswinkel, die Drehung der Polarisationsachse — überhaupt alle optischen Erscheinungen.

Es mag zugegeben werden, daß im leeren Raume eine Wirkung des Ätherstromes schwer zu entdecken wäre, aber man sollte meinen, daß die Gegenwart dichter Körper, insbesondere dichter durchsichtiger Körper, durch die der Ätherstrom hindurchgeht, die Entdeckung erleichtern müßte? Es erhebt sich eine große Zahl solcher Fragen, die alle von Zeit zu Zeit ernsthaft diskutiert worden sind.

Interferenz.

Als ein Beispiel für solche Diskussionen wollen wir Nr. 3 der oben angeführten Erscheinungen betrachten. Ich setze voraus, daß jeder Leser weiß, was Interferenz ist, aber ich will kurz bemerken, daß zwei gleiche Wellenzüge immer dann und dort „interferieren“, wenn die Wellenberge des einen Zuges mit den Wellentälern des anderen Zuges zusammenfallen und diese verwischen. Das Licht schreitet in jeder gegebenen Richtung fort, solange die Wellenberge in dieser Richtung Berge, und die Täler Täler bleiben. Wenn es uns aber gelingt, einen Lichtstrahl in zwei Hälften zu teilen, die beiden Hälften auf verschiedenen Wegen zum selben Ziel zu schicken und sie am Ziele wieder zusammentreffen zu lassen, so haben wir keine Garantie dafür, daß die Wellenberge gerade wieder auf Berge treffen und die Täler wieder auf Täler; es kann an manchen Stellen gerade umgekehrt sein, und dann tritt eine lokale Auslöschung oder Interferenz ein. Zwei wiedervereinigte Strahlhälften können daher stellenweise

ınkle Streifen hervorrufen und diese Streifen nennt man Interrenzstreifen.

Man darf nicht glauben, daß dabei irgend welche Lichtverchtung oder ein Energieverlust stattfindet, es ist nur eine Verıderung der Verteilung. Die hellen Teile sind im selben Verltnis heller als die dunklen dunkler sind. Die Fläche ist nicht ɜhr gleichförmig, sondern in Streifen beleuchtet, aber die gemte Belichtung ist dieselbe wie ohne Interferenz.

Projektion von Interferenzstreifen.

Es ist nicht leicht, Interferenzstreifen auf einen Schirm zu ojizieren, um sie einem größeren Kreise von Zuhörern sichtbar machen, schon deshalb nicht, weil e dunklen Streifen sehr enge aneinder liegen. Meines Wissens ist der rsuch bis jetzt auch noch nicht ge.cht worden. Aber mit Hilfe von er Anordnung, die ich Interferenzleidoskop nennen will, und die aus ei einen Winkel bildenden Spiegeln steht, mit einem dritten halbdurchhtigen Spiegel zwischen ihnen, ist es glich, die Streifen so klar und hell erhalten, daß sie leicht projiziert rden können. Ich führte dies im ıre 1892 bei einem Vortrage in der yal Institution vor.

Fig. 7.

Jeder von den Spiegeln ist auf em mit Stellschrauben versehenen ɜifuß befestigt, der auf einer dicken enplatte steht; die Eisenplatte ruht auf hohlen Gummibällen. . 7 zeigt die Spiegel von oben gesehen und läßt ihre Stellung reneinander zur Genüge erkennen; man sieht ferner daraus, die zwei Strahlhälften, in die das Licht durch die halbdurchıtigen Spiegel geteilt wird, denselben Weg ABC, aber in entengesetzter Richtung durchlaufen, sich dann wieder vereinigen l zusammen in Richtung der Pfeilspitze weiter wandern. Ein alleles Strahlenbündel einer elektrischen Lampe entwirft auf

diese Weise breite Interferenzstreifen auf einen Schirm. Die Anordnung ist gar nicht empfindlich gegen Störungen, weil die Bahnen der zwei Strahlhälften identisch sind und auch wegen der Art der Aufstellung. Ein Stück gutes Glas kann in den Strahlengang gestellt werden, ohne daß es stört, und man kann heftig auf den Tisch schlagen, ohne daß sich die Streifen verändern.

Der einzige geregelte Weg, die Streifen zum Verschwinden zu bringen besteht darin, daß man eine Strahlhälfte beschleunigt, die andere verzögert, indem man eine durchsichtige Substanz längs der Strahlbahn bewegt. Bestehen z. B. die Seiten oder nur eine Seite des Dreiecks aus Wasserröhren, in welchen ein rascher Strom fließt, dann kann der Strom die eine Strahlhälfte beschleunigen, die andere verzögern und dadurch die Streifen um eine meßbare Strecke verschieben. Das ist der Versuch, den Fizeau im Jahre 1859 ausführte (dritter Anhang).

Dieser höchst interessante, wichtige und, wie ich annehme, auch wohlbekannte Fizeausche Versuch beweist ganz einfach und klar, daß das Licht, wenn es durch fließendes Wasser als durchsichtiges Medium hindurchgeht, mit dem Strome schneller vorwärts kommt als gegen den Strom.

Mancher hält das vielleicht für ganz natürlich, da ja auch der Wind den Schall in einer Richtung beschleunigt, in der entgegengesetzten aufhält. Ja, aber der Schall bewegt sich in der Luft fort und Wind ist eine Verschiebung von Luft, darum führt er natürlich den Schall mit; wogegen das Licht sich nicht wirklich im Wasser bewegt, sondern immer im Äther, es ist infolgedessen durchaus nicht einleuchtend, warum ein Wasserstrom es beschleunigen oder aufhalten soll. Aber der Versuch entscheidet, und er hat es bestätigt. Der Wasserstrom beschleunigt das Licht ungefähr gerade um die Hälfte seiner eigenen Geschwindigkeit, nicht um die ganze; das ist ein merkwürdiger und wichtiger Punkt, der anzeigt, daß das strömende Wasser überhaupt gar keinen Einfluß auf den Äther hat; die Erklärung, wie die Beschleunigung zustande kommt, müssen wir auf später verschieben. Für den jetzigen Zweck genügt die Tatsache, daß die Lichtgeschwindigkeit durch strömendes Wasser und darum wahrscheinlich durch jeden durchsichtigen, bewegten Körper bis zu einem gewissen Grade verändert wird.

Liefert uns diese Tatsache nicht ein einfaches Mittel, um eine Bewegung der Erde durch den Äther zu entdecken? Jedes Gefäß mit ruhendem Wasser bewegt sich in Wirklichkeit mit einer Geschwindigkeit von 19 Meilen pro Sekunde durch den Äther. Wenn man einen Lichtstrahl in der einen Richtung durchschickte, müßte er beschleunigt werden; seine Geschwindigkeit müßte nun 140009 anstatt 140000 Meilen pro Sekunde betragen. Schickte man den Strahl in entgegengesetzter Richtung durch, so müßte seine Geschwindigkeit um gerade so viel weniger, also 139991 betragen. Beim Wiedervereinigen der zwei Strahlen würden sicher einige Wellen interferieren. M. Hoek, ein Astronom in Utrecht, machte den Versuch genau in dieser Form, nachdem er früher in etwas anderer Weise von Babinet ausgeführt worden war. Fig. 8 zeigt eine Skizze des Hoekschen Apparates. Das

Fig. 8.

Licht der Quelle Q wird so geleitet, daß es zur Hälfte durch uhendes Wasser, zur Hälfte durch Luft wandern muß; beim Rückweg wird die Bahn umgekehrt und führt dann zum Auge. Hoek erwartete Interferenzstreifen von den zwei Strahlhälften, on denen der eine das Wasser in Richtung der Erdbewegung durchetzt hatte, der andere in entgegengesetzter Richtung. Aber es eigten sich keine Streifen. Das Resultat des Versuches war negativ.

Ein Versuch, bei dem gar nichts zu sehen ist, gehört aber icht zu den befriedigenden negativen Versuchen. Er ist „doppelt egativ“, wie Mascart das nennt. Wir verlangen irgend eine arantie dafür, daß die Bedingungen auch die richtigen waren, m das zu sehen, was unter Umständen gesehen werden könnte. aher ist die Abänderung des Versuches von Mascart und amin vorzuziehen (Fig. 9). Hier wird der Strahl durch Reflexion n einer dicken Glasplatte zuerst in zwei Teile geteilt und vor er Beobachtung wieder vereinigt. Die zwei Strahlhälften gehen

in entgegengesetzter Richtung durch das ruhende Wasser. Was man in diesem Fall zu sehen erwarten konnte, war eine Verschiebung der schon vorhandenen Interferenzstreifen bei Drehung des obigen Apparates in bezug auf die Richtung der Erdbewegung. Aber es ließ sich keine Verschiebung entdecken.

Mit Interferenzmethoden ist es nicht möglich, eine Spur von relativer Bewegung zwischen Erde und Äther zu entdecken.

Also muß man es mit anderen Erscheinungen versuchen; z. B. mit der Brechung. Es ist bekannt, daß der Brechungsindex des Glases von dem Verhältnisse der Lichtgeschwindigkeit außerhalb des Glases zu der Geschwindigkeit im Glase abhängt. Wenn nun der Äther durch das Glas strömt, so wird die Lichtgeschwindigkeit im Glase verschieden sein, je nachdem das Licht mit dem Strome oder entgegen dem Strome fortschreitet, und daher könnte auch der Brechungsindex ein anderer sein. Arago war der erste, der diesen Versuch machte, indem er ein achromatisches Prisma vor ein Fernrohr aufstellte und die Ablenkung des Sternenlichtes beobachtete, die dadurch verursacht wurde.

Fig. 9.

Es ist zu beachten, daß es ein achromatisches Prisma war, das zwischen den verschiedenen Wellenlängen keinen Unterschied macht; er betrachtete das abgelenkte Sternbild, nicht das in Farben aufgelöste Bild oder Spektrum, sonst hätte er die Frequenzänderung wegen Bewegung von Lichtquelle oder Empfänger entdecken können, die zuerst von Sir W. Huggins beobachtet worden ist. Ich glaube zwar nicht, daß Arago sie wirklich entdeckt hätte, denn seine Anordnung war sicher nicht empfindlich genug für einen so schwachen Effekt; aber der Grundgedanke seines Versuches war nicht falsch, wie Professor Mascart aus Versehen meinte.

Später wiederholte Maxwell den Versuch in viel feinerer Weise, so daß er noch einen winzigen Effekt hätte bemerken müssen, und auch Mascart hat ihn in einfacher Form wiederholt. Der Erfolg war aber stets absolut negativ.

Wie ist es mit der Aberration? Wenn man durch eine bewegte Schicht blickt, z. B. durch eine sich drehende Glasscheibe, so müßte die Bewegung eine Verschiebung hervorrufen (s. Fig. 4). Der Versuch ist in dieser Form nicht gemacht worden, aber ich zweifle nicht an seinem Erfolg, obwohl schon eine große Geschwindigkeit und Dicke des Glases oder eines anderen Mediums nötig wäre, um eine winzige scheinbare Verschiebung des betrachteten Gegenstandes zu veranlassen.

Aber die Erdgeschwindigkeit steht uns ja zur Verfügung, und das Fernrohr kann seiner ganzen Länge nach mit Wasser gefüllt werden. Das würde sicher genügen, um Lichtstrahlen merklich abzulenken.

Sir George Airy machte in Greenwich diesen Versuch an einem Sterne mit einem geeigneten, mit Wasser gefülltem Fernrohre. Der Stern wurde durch das Wasserfernrohr genau so gesehen, wie durch das Luftfernrohr. Wieder ein negatives Ergebnis! (Die Theorie ist im zehnten Kapitel und im dritten Anhang ausführlich dargestellt.)

Himmelsbeobachtungen sind aber unnötig schwierig. Fresnel hat gezeigt, daß eine irdische Lichtquelle denselben Dienst tut. Als Mann von überragendem Geiste hat er auch vorausgesagt, daß nichts zu erwarten sei. Hoek hat nun den Versuch auf einwandfreie Weise ausgeführt und wirklich wieder mit negativem Ergebnisse.

Aber diese Tatsachen sind durchaus nicht entmutigend; im Gegenteil, gerade das hatte man nach der wahren Theorie erwartet. Die Fresnelsche Äthertheorie, die sich auf das Verhalten des Äthers innerhalb der Körper bezieht, macht es erklärlich, warum keinerlei Wirkung zu beobachten ist, wenn ein ruhender dichter Stoff in die Bahn eines Lichtstrahles gebracht wird, ruhend, das heißt nicht künstlich relativ zur Erde bewegt, oder besser relativ zur Lichtquelle und zum Empfänger.

Wenn der Brechungsexponent eines Stoffes μ ist, so heißt das soviel, als daß die Lichtgeschwindigkeit in dem Stoffe der $1/\mu$ ste Teil von der Geschwindigkeit außerhalb oder im Vakuum ist. Und das wieder ist nur eine andere Ausdrucksweise dafür, daß die Ätherdichte in dem Stoffe durch μ^2 bestimmt wird, da die Geschwindigkeit umgekehrt proportional zur Quadratwurzel aus der Dichte des übertragenden Mediums ist; die Elastizität wird hierbei als konstant, und außen wie innen gleich angenommen.

Aber wenn der Äther inkompressibel ist, so muß ja seine Dichte konstant sein; — wie kann er also innerhalb der Stoffe dichter sein als außerhalb? Die Antwort lautet, daß der Äther an sich vermutlich nicht wirklich dichter ist, sondern. daß er mit Stoff beladen ist. Man muß annehmen, daß die Stoffatome oder die sie zusammensetzenden Elektronen durch die vorbeikommenden Wellen erschüttert werden, wie dies unverkennbar bei fluoreszierenden Substanzen der Fall ist. Und die Ausbreitungsgeschwindigkeit wird durch die größere Last, auf welche die Wellen treffen, vermindert. Es ist keine wirkliche, sondern nur eine virtuelle Zunahme der Dichte, welche darauf beruht, daß zu der Trägheit des Äthers die materielle Trägheit des Stoffes noch hinzu kommt. Wenn die Dichte des Äthers außen gleich 1 ist und die des beladenen Äthers innerhalb μ^2 ist, so ist die Zunahme wegen des Stoffes $\mu^2 - 1$, während der Äther selbst innnen und außen gleich ist.

Es werde nun angenommen, daß der Stoff sich bewegt. Die Extraladung wird natürlich mitgeführt, da sie zum Stoffe gehört und verändert dadurch die Lichtgeschwindigkeit nach Maßgabe der Ladung, d. i. nämlich im Verhältnisse von $\mu^2 - 1$ zu μ^2.

Das ist das Verhältnis, das Fresnel vorausbestimmte: $\frac{\mu^2 - 1}{\mu^2}$ oder $1 - \frac{1}{\mu^2}$. Bei Fizeaus Versuch mit fließendem Wasser, besonders bei der modernen, exakten Form, in der Michelson ihn später wiederholt hat, wird der beobachtete Lichteffekt genau durch diese Formel ausgedrückt.

Wenn aber statt fließendem Wasser ruhendes Wasser verwendet wird, d. h. ruhend nur in bezug auf die Erde, aber in starker Bewegung gegenüber dem Äther, dann ist die $(\mu^2 - 1)$ Wirkung der Ladung an den Stoff geknüpft und kann keinen Extraeffekt bewirken. Hier könnte nur der Teil, der dem freien Äther von der Dichte 1 zugehört, einen solchen Effekt hervorrufen; aber nach der obigen Ansicht ist der Äther vollkommen in Ruhe, da er von der Erde gar nicht mitgerissen wird, er scheidet also auch aus. Folglich muß nach der Fresnelschen Theorie die Wirkung eines Ätherstromes auf optische Versuche Null sein. Und das ist gerade das, was alle die beschriebenen Versuche ergeben.

Mit großer Beharrlichkeit hat Prof. Mascart seitdem noch die Interferenzerscheinungen bei dicken Platten, die Newtonschen

Ringe, die Doppelbrechung und die Drehungserscheinung im Quarz daraufhin untersucht; aber er fand absolut gar nichts, was auf einen Ätherstrom deuten könnte.

Einzig und allein bei einer sehr schwierigen Polarisationsuntersuchung im Jahr 1859 glaubte Fizeau ein positives Ergebnis erhalten zu haben. Bevor es jedoch nicht bei Wiederholung bestätigt wird, läßt man es am sichersten ganz beiseite; ich glaube sogar, daß das Experiment durch Lord Rayleigh wiederholt worden ist, und zwar mit negativem Resultate.

Fizeau schlug noch ein anderes, scheinbar leichteres Experiment vor, das er aber selbst nicht versucht hat: zwei Thermosäulen mit einer Lichtquelle zwischen ihnen, um den Strom eines Mediums an der mitgeführten Energie zu beobachten; es gibt jedoch einen auf Wechselwirkung[1]) beruhenden Beweis, der zu zeigen trachtet, und, wie ich glaube, auch wirklich zeigt, daß das Strahlungsvermögen durch die Bewegung des Mediums gerade so geändert wird, daß die erwartete Wirkung dadurch wieder aufgehoben würde.

Zusammenfassung.

Die Bewegung der Lichtquelle allein bewirkt:	Eine wirkliche oder scheinbare Änderung der Wellenlänge. Einen wirklichen, aber nicht merkbaren Richtungsfehler. Keine Phasenverschiebung oder Intensitätsänderung, mit Ausnahme derjenigen, welche von geänderter Wellenlänge herrühren.
Die Bewegung des Mediums allein oder die gleichzeitige, gleiche Bewegung von Quelle und Empfänger bewirkt:	Keine Änderung der Frequenz. Keinen Richtungsfehler. Eine wirkliche Phasenverschiebung, aber nicht zu beobachten, wenn man das Medium nicht in Gewalt hat. Eine Intensitätsänderung, entsprechend verschiedenen Entfernungen, aber aufgehoben durch das Strahlungsvermögen.
Die Bewegung des Empfängers allein bewirkt:	Eine scheinbare Änderung der Wellenlänge. Einen scheinbaren Richtungsfehler. Keine Phasenverschiebung oder Intensitätsänderung, ausgenommen die der verschiedenen, virtuellen Lichtgeschwindigkeit zugehörige.

[1]) Lord Rayleigh, Nature, 25. März 1892.

Man kann weiter sagen, daß keine einzige optische Erscheinung imstande ist, die Existenz eines Ätherstromes bei der Erde nachzuweisen. Alle optischen Erscheinungen gehen so vor sich, als ob der Äther relativ zur Erde in Ruhe wäre.

Nun, dann ist er vielleicht wirklich in Ruhe. Die angeführten Versuche beweisen es nicht. Sie sind ebensogut vereinbar mit absoluter Freiheit, wie mit absoluter Ruhe des Äthers in bezug zur Erde, sie sind nur unvereinbar mit einer Zwischenstufe. Gewiß, wenn der Äther in Ruhe wäre, so gäbe es nichts einfacheres als ihre Erklärung. Nur eine einzige Erscheinung wäre dann schwer zu deuten: das Licht, das aus weiter Ferne durch alle Schichten von mehr oder weniger mitgerissenem Äther zu uns kommt. Die Theorie der astronomischen Aberration würde dadurch bedenklich kompliziert; ihre jetzige Gestalt müßte ganz umgestürzt werden (S. 31). Aber es ist nie ratsam, Tatsachen durch eine Theorie zu prüfen; besser ist es, einen Versuch zu erdenken, der in mitgerissenem Äther ein anderes Ergebnis liefern muß als in freiem Äther. Keines von den bis jetzt beschriebenen Experimenten ist in dieser Beziehung entscheidend. Sie sind, wie gesagt, mit beiden Hypothesen vereinbar, wenn auch nicht gerade auf den ersten Blick.

Der Michelsonsche Versuch.

Mr. Michelson aus den Vereinigten Staaten dachte sich aber ein Verfahren aus, das aussah, als ob es wirklich entscheidend sein sollte. Und nach Überwindung vieler Schwierigkeiten führte er es auch aus. Es ist im Philosophical Magazine vom Jahre 1887 beschrieben.

Fig. 10.

Der berühmte Michelsonsche Versuch besteht darin, daß man zwei Teile eines Strahles, von denen der eine quer zur Ätherströmung, der andere in Richtung der Ätherströmung fortschreitet, auf Interferenz untersucht.

Zur Teilung des Strahles benutzte Michelson einen halbdurchsichtigen Spiegel *A* (Fig. 10), der in einem Winkel von 45° zum Strahl aufgestellt wird; zwei gewöhnliche Spiegel *B* und *C*

senkrecht zum Strahl werfen die zwei Strahlhälften dahin zurück, woher sie gekommen sind, so daß sie durch ein Fernrohr das Auge treffen.

Die Anordnung weicht insofern wesentlich von dem Interferenz-Kaleidoskop Fig. 7 ab, als das Stück BC der Strahlenbahn fehlt und sie also nicht in sich zurückläuft. Jeder Strahlenteil geht hin und zurück auf seinem eigenen Wege, und diese Wege sind nicht dieselben, sondern ganz verschiedene, der eine geht in der Richtung von Nord nach Süd, der andere von Ost nach West.

Unter diesen Umständen sind die Streifen viel unruhiger als in der Anordnung der Fig. 7 und jeder Störung unterworfen. Der Apparat muß außerordentlich ruhig stehen und jede Strömung, selbst Temperaturströmung auf der Strahlenbahn, muß vermieden werden. Um das zu erreichen, wurden Lichtquelle, Spiegel und Fernrohr auf einer massiven, in Quecksilber schwimmenden Steinplatte montiert.

Die Platte konnte langsam so gedreht werden, daß einmal der Weg AB und einmal AC angenähert in Richtung der Erdbewegung oder quer dazu lag.

Falls nun der Weg in Richtung der Erdbewegung etwas langsamer zurückgelegt würde, als quer dazu, so müßte bei der Drehung der Platte eine kleine Verschiebung der Streifen wahrzunehmen sein, obwohl alles übrige unverändert blieb.

Aber während in all den früher beschriebenen Versuchen ler gesuchte Effekt ein Effekt erster Ordnung, von dem Größenverhältnis 1 : 10000 oder 20000, war, da er von der ersten Potenz les Verhältnisses Erdgeschwindigkeit zu Lichtgeschwindigkeit ıbhängt, so hängt der jetzt zu erwartende Effekt von dem Quadrate lieses Verhältnisses ab und kann unter den günstigsten Umtänden nicht größer sein als 1 : 100 Mill.

Es ist daher klar, daß es sich um ein ungeheuer schwieriges Experiment handelt, und daß viel Geschick und Ausdauer dazu gehört, um es mit Erfolg durchzuführen.

Wie außerordentlich schwierig es ist, kann man daraus ersehen, daß es erst dann entscheidend wird, wenn eine Größe : 400 Mill. noch deutlich wahrgenommen werden kann.

Mr. Michelson schätzt, daß er bei seiner letzten Anordnung och eine Verschiebung von 1 : 4000 Mill. unterscheiden könnte, venn sie vorhanden wäre (was gleichwertig ist mit der Wahr-

nehmung eines Fehlers von $^1/_{1000}$ Zoll an einer Länge von 60 Meilen). Aber er sah nichts dergleichen. Es war alles genau so, als ob der Äther ruhend wäre, als ob also die Erde den ganzen angrenzenden Äther mit sich führte. Und das ist der Schluß, zu dem er gekommen ist.

Die Theorie des Michelsonschen Versuches.

Die Theorie des Michelsonschen Versuches kann folgendermaßen ausgedrückt werden, wenn die optischen Verhältnisse durch Fig. 6 geometrisch dargestellt werden.

Wenn eine Lichtquelle und ein Empfänger, die gegeneinander unbeweglich sind, mit einer Geschwindigkeit u durch den Äther fortschreiten, so daß $u/v = \alpha$ die Aberrationskonstante ist, dann wird die Zeit eines Ganges von Q nach M und zurück, der den Winkel θ mit der Strömung bildet, um

$$\frac{\sqrt{1 - \alpha^2 \sin^2 \theta}}{1 - \alpha^2}$$

kleiner als ohne Strömung. Das folgt aus rein geometrischen Betrachtungen.

Wenn daher ein Strahl geteilt und in zwei zueinander senkrechten Richtungen gesandt wird, so daß bei dem einen Teile $\theta = 0^0$, bei dem anderen $\theta = 90^0$ ist (wie in Fig. 10), so wird der eine Teil um $^1/_2\alpha^2$ des zurückgelegten Weges hinter dem anderen zurückbleiben; wenn dies auch sehr wenig ist, so kann es doch einen merklichen Bruchteil einer Wellenlänge ausmachen und infolgedessen eine wahrnehmbare Verschiebung der Streifen verursachen.

Bei richtiger Ausführung des Versuches ist aber keine Verschiebung zu bemerken.

Der Versuch scheint also zu beweisen, daß überhaupt keine Bewegung durch den Äther stattfindet, daß der Äther nicht an der Erde vorbeiströmt, daß der mit der Erde in unmittelbarer Berührung stehende Äther in bezug auf sie in Ruhe ist — oder daß die Erde den angrenzenden Äther mit sich führt.

Es ist nicht leicht, diesen Schluß zu vermeiden. Denn er beruht nicht auf unsicheren Eigenschaften durchsichtiger Substanzen, sondern auf einem ehrlichen Grundprinzip, auf dem alle ähnlichen einfachen Tatsachen beruhen, so z. B. die Tatsache, daß

man länger dazu braucht, um eine gewisse Strecke stromauf- und -ab zu rudern, als dieselbe Strecke in ruhendem Wasser; oder daß man länger dazu braucht, einen Hügel hinauf und hinunter, als denselben Weg in der Ebene zu laufen; oder daß es mehr kostet, wenn man eine gewisse Anzahl Orangen zur Hälfte zum Preise von 3 für 10 Pf. kauft und zur Hälfte zum Preise von 2 für 10 Pf., als wenn man alle zusammen zum Preise von 5 für 20 Pf. kauft.

Wenn es auch vielleicht möglich ist, irgendwie um den Michelsonschen Versuch herumzukommen, auf klare, einleuchtende Weise geht es nicht; und wenn die Folgerung, daß der an die Erde angrenzende Äther ruhend ist, nicht stimmt, dann muß man notwendig zu einer anderen wichtigen, bisher unbekannten Tatsache geführt werden.

Und diese Tatsache ist jetzt klar ans Licht gekommen. Der verstorbene Prof. G. F. Fitz-Gerald, vom Trinity College Dublin, sprach sie zum ersten Male aus, als er in meinem Arbeitszimmer in Liverpool saß und die Sache mit mir besprach. Die Idee trug von Anfang an den Stempel der Wahrheit an sich. Unabhängig davon kam Prof. H. A. Lorentz in Leiden auf denselben Gedanken, der vortrefflich in seine Theorie hineinpaßt und den er auf glänzende Weise in sein System verarbeitet hat. Er kann kurz folgendermaßen dargestellt werden:

Bewegte elektrische Ladungen bilden einen elektrischen Strom. Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, aber gleichgerichtete Ströme ziehen sich an. Folglich müssen sich zwei gleiche Ladungen, die sich auf zwei parallelen Linien bewegen, weniger stark abstoßen, als wenn sie in Ruhe wären, auch weniger stark, als wenn sie sich hintereinander auf derselben Linie bewegten. Ebenso müssen sich zwei entgegengesetzte Ladungen, die sich in einer bestimmten Entfernung voneinander befinden, weniger anziehen, wenn sie bei der Vorwärtsbewegung nebeneinander liegen, als wenn sie hintereinander liegen. Die dadurch hervorgerufene Änderung der statischen Kraft hängt von dem Quadrate des Verhältnisses ihrer gemeinsamen Geschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit ab.

Die Stoffatome sind geladen; Kohäsion ist eine restliche elektrische Anziehungskraft (siehe Anhang 1, am Ende). Wenn sich ein Stoffklumpen durch den Weltäther bewegt, so wird seine Kohäsionskraft quer zur Bewegungsrichtung vermindert, und er

dehnt sich folglich in dieser Richtung proportional zum Quadrate der Aberrationsgröße aus.

Ein Lichtstrahl legt in einem bewegten Medium einen hin- und zurückgehenden Weg quer zur Bewegungsrichtung schneller zurück, als längs dieser Richtung (siehe S. 44). Wenn dieser Weg aber auf einem materiellen Block vorgezeichnet oder festgesetzt ist, so bleibt er nicht derselbe, wenn er im Raum gedreht wird: der Weg quer zur Bewegungsrichtung wird dann etwas länger, wie wir eben sahen. Und der längere Weg hebt die größere Geschwindigkeit eben auf, so daß das Licht für beide Wege dieselbe Zeit braucht.

Fünftes Kapitel.

Ein spezieller Versuch über die Viskosität des Äthers.

Bei der Lage der Dinge, wie wir sie eben beschrieben, schien sich die Wagschale der Ansicht zuzuneigen, daß es keinen Ätherstrom gibt, daß der Äther in der Nähe der Erde ruhend ist, daß die Erde den angrenzenden Äther ganz oder zum größten Teil mit sich führt — eine Ansicht, die, wenn sie richtig ist, die Theorie der gewöhnlichen astronomischen Aberration eigentümlich kompliziert macht, wie das am Anfange des vorigen Kapitels gesagt wurde.

Doch laßt uns die Frage einmal anders stellen. Kann ein materieller Körper durch seine Bewegung den Äther mitreißen? Wir wollen dabei gar nicht an die Erde denken; ihre Bewegung ist zwar sehr schnell, aber zu unkontrollierbar und gibt daher immer negative Resultate. Wir wollen ein beliebiges Stück Masse, das wir in der Gewalt haben, ins Auge fassen und nun zusehen, ob es bei seiner Bewegung Äther mitreißt.

Diesen Versuch stellte ich mir zur Aufgabe und führte ihn auch aus in den Jahren 1891 bis 1897. Er besteht im wesentlichen in folgendem:

Zwei große Stahlscheiben, von 1 Yard Durchmesser, sind mit einem kleinen Zwischenraume aneinander befestigt und werden kreiselartig um ihre vertikale Achse gedreht, so schnell als es möglich ist, ohne daß sie in Trümmer gehen. Dann läßt man ein paralleles Strahlenbündel auf einen halbdurchlässigen Spiegel M (Fig. 11) fallen; das ist eine Glasscheibe, die so dünn versilbert

ist, daß sie die Hälfte der Strahlen durchläßt, die andere reflektiert (siehe auch Fig. 7). Die beiden Hälften läßt man in dem Raum zwischen den Platten in entgegengesetzter Richtung herumwandern, nicht nur einmal, sondern mehrere Male, so daß sie vielleicht einen Weg von 20, 30 oder 40 Fuß zurücklegen. Schließlich läßt man sie wieder zusammenkommen und zusammen in ein Fernrohr eintreten. Wenn sie ganz denselben Weg zurückgelegt haben, brauchen sie nicht zu interferieren, aber meist werden die Wege doch nicht auf $^1/_{100000}$ Zoll genau gleich sein, und das genügt, um Interferenz hervorzurufen.

Die Spiegel, welche die Strahlen im Kreise herumwandern lassen, sind in Fig. 11 angegeben. Wenn sie genau ein Quadrat bilden, dann werden die zwei letzten Bilder zusammenfallen, aber wenn die Spiegel nur im geringsten schief gegeneinander stehen, so daß ihre Winkelsumme nicht mehr 360° beträgt, dann wird das letzte Bild verdoppelt, wie wir es vom Kaleidoskop her kennen, und die Interferenzstreifen rühren von diesen zwei Quellen her. Der weiße Streifen in der Mitte halbiert ihre Entfernung senkrecht und die Größe dieser Entfernung bestimmt den Abstand der Streifen. Es treten dabei eine Menge von interessanten optischen Details auf, auf die ich mich aber nicht weiter einlassen will.

Fig. 11.

Es handelt sich nun darum, zu untersuchen, ob die Bewegung der Scheiben imstande ist, einen hellen Streifen durch einen dunklen zu verdrängen, oder umgekehrt. Wenn das der Fall ist, so will das sagen, daß der eine Teil der Strahlen, nämlich der, welcher in derselben Richtung umläuft wie die Scheiben, ein wenig mitgerissen wird, oder, was gleichbedeutend ist, daß der Weg von 30 Fuß um etwa den viermillionsten Teil eines Zolles verkürzt wird, während der andere Teil der Strahlen um denselben Betrag verzögert, oder sein Weg scheinbar verlängert wird.

Wenn diese Beschleunigung und Verzögerung wirklich eintritt, dann werden Wellen, die vorher nicht interferiert haben, jetzt interferieren, denn die eine wird um eine halbe Länge später an das gemeinschaftliche Ziel kommen als die anderen.

Ein allmählicher Übergang eines hellen Raumes in einen dunklen und umgekehrt sieht für den Beobachter, der die Streifen betrachtet, wie eine allmähliche Lageveränderung der hellen Streifen oder eine Streifenverschiebung aus. Es muß also nach einer Streifenverschiebung gesucht werden, wobei hauptsächlich der mittelste helle Streifen in Frage kommt, der viel stabiler ist als die anderen. Der Mittelstreifen wird von der Ziehharmonikabewegung, welche die anderen manchmal erfaßt, nicht berührt oder sollte es wenigstens nicht.

Zuerst sah ich Verschiebungen genug. Bei dem ersten Versuche segelten die Streifen über das Gesichtsfeld, als die Scheiben zu rotieren begannen, bis das Fadenkreuz über anderthalb Streifen gerückt war. Die Verhältnisse waren so, daß ich eine Verschiebung von drei Streifen hätte sehen müssen, wenn der Äther mit der vollen Scheibengeschwindigkeit mitrotiert wäre. Es sah also ganz danach aus, als ob das Licht mit der halben Geschwindigkeit des bewegten Körpers mitgenommen würde, gerade wie beim Wasser.

Als die Scheiben angehalten wurden, kehrten die Streifen an ihren ursprünglichen Platz zurück. Beim Rotieren in entgegengesetzter Richtung hätten sich nun die Streifen in entgegengesetzter Richtung verschieben müssen, wenn die Sache stimmen sollte; das taten sie aber nicht, sie schlugen denselben Weg ein wie früher.

Die Verschiebung war also eine falsche, hervorgerufen durch die Zentrifugalkraft des Luftstromes, den die rotierenden Scheiben wegschleuderten; Spiegel und Rahmen mußten davor geschützt werden. Noch viele andere kleine Veränderungen mußten angebracht werden, und allmählich wurde die falsche Verschiebung mehr und mehr beseitigt, hauptsächlich durch die Geschicklichkeit und Geduld meines Assistenten, Mr. Benjamin Davies, bis schließlich nur eine ganz geringe Spur davon zurückblieb.

Aber der Versuch ist kein leichter. Nicht nur, daß der Luftstrom Druck ausübt, die Luft selbst erwärmt sich auch stark bei großen Geschwindigkeiten. Außerdem ist der optische Teil

ler Anordnung sehr geneigt, durch die Rotationsmaschine, die nanchmal mit vier bis neun Pferdestärken arbeitet, in Mitschwin-gungen zu geraten. Natürlich sind sorgfältige Sicherheitsmaß-egeln dagegen getroffen. Obwohl die zwei Teile, der mechanische ind der optische, so nahe zusammen liegen, so sind sie doch ;anz unabhängig voneinander aufgestellt. Aber sie ruhen doch uf denselben Erdboden und Erschütterungen sind daher nicht u vermeiden. Darin liegt die Ursache der meisten noch übrig leibenden Störungen.

Die Beschreibung des ganzen Versuches mit allen seinen ;inzelheiten ist in den Philosophical Transactions of the Royal ociety 1893 und 1897 erschienen. Dort sind auch einige weitere bänderungen angeführt, wobei die rotierenden Scheiben elektrisch eladen waren — ebenfalls ohne optische Wirkung. Auch magne-siert wurden sie, oder vielmehr: es wurden statt der Stahl-cheiben große Eisenmassen genommen, die durch einen elek-rischen Strom kräftig magnetisiert waren.

Das Resultat war aber immer Null, wenn alle Nebenerschei-ungen beseitigt waren, und es ist sicher, daß bei den erreich-aren Geschwindigkeiten weder Elektrizität noch Magnetismus ne merkbare viskose Kraft zwischen Stoff und Äther hervorruft. ie Atome müssen imstande sein, den Äther in Schwingungen zu ersetzen, wenn sie selbst schwingen oder mit genügender Ge-hwindigkeit rotieren, sonst könnten sie kein Licht oder andere rahlen erzeugen; aber man kann absolut nicht nachweisen, daß e ihn mitreißen, oder bei ihrer Bewegung durch ihn hindurch gend welchen Widerstand finden. Nur ihre Beschleunigung t eine Wirkung.

Aus Larmors Elektronentheorie wissen wir heute, daß die eschleunigung eines Atoms oder vielmehr einer Atomladung twendig eine Strahlung hervorrufen muß, die proportional dem adrate der Beschleunigung ist, gleichgültig ob sie tangential er normal gerichtet ist. Theoretisch ist kein Grund vorhanden, rum eine gleichförmige Bewegung irgend welchen Einfluß aus-en sollte. Und selbst bei Beschleunigung ist der Einfluß unter wöhnlichen Umständen sehr gering. Nur bei einem hef-en Anprall werden richtige Ätherwellen hervorgerufen. Aber r vorliegende Versuch hat mit Beschleunigung nichts zu tun, befaßt sich nur mit Viskosität. Ein Beschleunigungsglied

tritt aber selbst bei Bewegung in einer vollkommenen Flüssigkeit auf.

Das Ergebnis meiner Untersuchungen im Jahre 1892 bis 1893 ist in den Philosophical Transactions of the Royal Society **184**, 777, folgendermaßen ausgedrückt: „Ich bin überzeugt,

Fig. 12.

daß der Äther an der Bewegung der Scheiben entweder gar nicht teilnimmt, oder wenn doch, dann höchstens zum tausendsten Teil. Um aber bei dem streng Beweisbaren zu bleiben, will ich besser sagen, daß die Veränderung der Lichtgeschwindigkeit zwischen zwei Stahlplatten, die sich in einem Zoll Entfernung voneinander zusammen in ihrer eigenen Ebene drehen, nicht mehr betragen kann als $^1/_{200}$ der Scheibengeschwindigkeit.

Das war der Schluß, zu dem ich im Jahre 1893 kam; seither sind aber die Untersuchungen fortgesetzt worden und statt $^1/_{200}$ kann nun ruhig $^1/_{1000}$ gesetzt werden. Wir ließen die Scheiben manchmal drei Stunden lang rotieren, um zu sehen, ob die Wirkung sich vielleicht erst mit der Zeit bemerkbar machte, und wandten noch viele andere Vorsichtsmaßregeln an, die in den Philosophical Transactions vom Jahre 1897 kurz angegeben sind.

Die beigefügten Abbildungen geben eine Vorstellung von dem benutzten Apparate.

Fig. 12 ist die Photographie des Rotationsapparates, bevor derselbe auf seinem Steinlager befestigt war; die zwei Scheiben

Fig. 13.

ım oberen Ende können durch einen elektromagnetischen Anker, ler an der Welle angebracht ist und mit einem bis zu neun Pferde-tärken starkem Strome beschickt wird, in Drehung versetzt werlen. Die Ankerwindungen hatten geringen Widerstand und varen besonders gut befestigt, um auch bei hohen Geschwindig-ɛeiten nicht abzufliegen und um nicht zu viel gegenelektromoto-ische Kraft zu induzieren. Das Amperemeter, das Voltmeter ınd der Kohlenwiderstand im Ankerkreise zum Regulieren der ̶eschwindigkeit sind im Bilde unschwer zu erkennen. Die breite latte Scheibe auf der Welle dient zum Anbringen einer Bremse; ie dünne Scheibe darüber ist durchbrochen, um als Sirene zu ·irken zum Abschätzen der Geschwindigkeit; später wurden aber ir diesen Zweck andere Einrichtungen getroffen. Die zwei roßen Scheiben am oberen Ende waren aus bestem Kreissägen-

stahl; sie sind in der Mitte etwas dicker als außen und sind mit eisernen Backen, die an der Welle befestigt sind, fest verschraubt. Das untere Ende der Welle ruht auf einem Stehlager von gehärtetem Stahl in einem Ölgefäß. Oben ist die Welle elastisch gelagert, um bei hohen Geschwindigkeiten einen ruhigen Gang zu ermöglichen.

Fig. 13 zeigt den Rahmen mit der optischen Einrichtung, der zuletzt so angebracht wurde, daß er die Scheiben umgab.

Fig. 14.

M

Spalt und Kollimator sind zu sehen; das Mikrometerende des Beobachtungsfernrohrs liegt außerhalb des Bildes.

Die Spiegel an den Seiten des Rahmens sind genau eben; sie sind geometrisch genau einstellbar und werden mit starken Federn in ihrer Lage gehalten. Sie sind von Hilger bezogen.

Fig. 14 zeigt die ganze Anordnung von oben, wobei man auch das doppelte Mikrometeraugenstück des Fernrohres sieht.

Im Titelbilde sieht man den ganzen Apparat zusammengestellt; der rotirende Teil ist auf einem Steinlager D befestigt, das mit dem Boden nicht zusammenhängt; unabhängig davon ruht der optische Rahmen B auf Holzträgern A, die ihr eigenes Fundament haben. Vorn ist der Zentrifugal-Quecksilber-Geschwindigkeits-

messer sichtbar und Mr. Davies, der die Geschwindigkeit reguliert. Im Hintergrunde sieht man den Schirm aus Kesselblech für den Beobachter, mit einer Öffnung für das Fernrohr. Zur linken Seite sitze ich selbst, rechts steht mein Freund George Holt, Reeder in Liverpool, der die Kosten des Apparates getragen hat.

Fig. 15 zeigt, wie das Bild, das im Okular erscheint, ungefähr aussieht, mit den Interferenzstreifen auf beiden Seiten des Mittelstreifens und mit den eingestellten Fäden, die, unabhängig voneinander, je mit einer besonderen Mikrometerschraube bewegt werden können. Der Vertikalfaden wurde gewöhnlich auf die Mitte des hellen Mittelstreifens eingestellt, das Fadenkreuz auf das Gelb des ersten farbigen Bandes auf der einen oder anderen Seite.

Die Beobachtungen wurden auf folgende Weise ausgeführt: Nachdem der eine Faden genau auf die Mitte des Mittelstreifens und der zweite auf den ersten Streifen (meistens links) eingestellt war, wurden die Mikrometer abgelesen; die Einstellung wurde ein- bis zweimal wiederholt, um zu sehen, wie genau dieselbe Stellung wieder erreicht werden konnte. Dann ließ man die Scheiben rotieren und bei einer bestimmten, durch die Sirene oder andere Einrichtungen angezeigten Geschwindigkeit, wurden die Fäden wieder eingestellt und das Mikrometer abgelesen, und zwar verschiedene Male hintereinander. Darauf wurden die Scheiben angehalten und die Ablesungen wiederholt; dann die Bewegung der Scheiben umgekehrt, die Fäden wieder eingestellt, wieder abgelesen, und schließlich die Scheiben wieder angehalten und noch einmal abgelesen.

Fig. 15.

Auf diese Weise erhielt man die wirkliche Verschiebung des Mittelstreifens und gleichzeitig dieselbe ausgedrückt in Wellenlängen; denn die Strecke zwischen den Fäden, die oft zwei Umdrehungen der Mikrometerschraube ausmacht, stellt eine ganze Wellenlänge dar.

Auch bei den besten Versuchen beobachtete ich noch eine Verschiebung von ungefähr $^1/_{50}$ Streifenbreite; aber sie rührte von noch zurückgebliebenen Versuchsfehlern her, denn bei Umkehrung des Drehungssinnes erschienen sie mit genügender Genauigkeit in derselben Richtung wieder.

Eine wirkliche, umkehrbare Verschiebung, wie sie durch die Ätherbewegung entstehen müßte, konnte ich nicht entdecken. Ich glaube daher nicht, daß der Äther sich bewegt. Wenigstens bewegt er sich mit weniger als dem fünfhundertsten Teil der Scheibengeschwindigkeit. Weitere Versuche bestätigen und stärken diese Überzeugung, und ich ziehe also den Schluß, daß Dinge wie Zirkularsägen, Schwungräder, Eisenbahnzüge und überhaupt alle gewöhnlichen Körper den Äther nicht merklich mitreißen. Ihre Bewegung scheint ihn nicht im geringsten zu stören.

Die Vermutung liegt nahe, daß für die Erde dasselbe gilt. Aber die Erde ist ein großer Körper und es wäre denkbar, daß eine so große Masse zustande bringt, was einer kleinen nicht gelingt. Darum möchte ich mich in bezug auf die Erde nicht so bestimmt ausdrücken, wenigstens nicht auf Grund des Experimentes. Was ich für gewiß halte, ist dies: wenn bewegte Massen den Äther in ihrer Umgebung überhaupt stören, so ist die Ursache davon sicher nicht die Viskosität des Äthers, sondern irgend eine unbedeutende Kraft, die ihrer Größe nach vielleicht mit der Gravitation vergleichbar ist und vielleicht auch auf derselben Eigenschaft beruht wie die Gravitation. So weit unser Versuch reicht, sind wir zu dem Ergebnis gelangt, daß die Viskosität oder Flüssigkeitsreibung des Äthers Null ist. Und das ist ein durchaus vernünftiges Ergebnis.

Magnetisierung.

Zur Untersuchung des magnetischen Einflusses wurde ein abgeplattetes Rotationsellipsoid aus eigens dazu ausgesuchtem

Fig. 16.

weichen Eisen verwendet; es hatte einen Durchmesser von 3 Fuß und wog fast eine Tonne. In Fig. 16 ist es im Schnitte abgebildet.

Es besitzt einen ringförmigen Einschnitt von $^1/_2$ Zoll Breite und 1 Fuß Tiefe, der bis zu einer Höhe von $4^1/_2$ Zoll mit 1000 m isoliertem Draht bewickelt ist; die Enden des Drahtes sind an Schleifkontakten an der Welle befestigt, so daß das Ganze während der Rotation stark magnetisiert werden konnte. Die ganze Einrichtung war symmetrisch in bezug auf die Zentralachse.

Fig. 17.

Für gewöhnlich wurden 110 Volt an den Draht gelegt, der 30 Ohm Widerstand besaß; ausnahmsweise auch manchmal 220 Volt. Das magnetische Feld war im Mittel, in dem Gebiete wo der Lichtstrahl wandert, bei 110 Volt ungefähr 1800 CGS stark.

Dieser Lichtraum oder Schlitz des magnetischen Kreises war nur $^1/_2$ Zoll breit; und dementsprechend konnte man im Okular die eisernen Flächen oben und unten neben den Interferenzstreifen in dem hellen Spalt sehen, wie es in Fig. 17 abgebildet ist.

Elektrisierung.

Bei dem Versuche mit Elektrisierung wurde eine dritte isolierte Scheibe zwischen den zwei Stahlscheiben befestigt und bis zur Durchschlagsspannung aufgeladen.

Der Elektrisierungsversuch war besonders leicht auszuführen; der isolierte Ladestift wurde mit einer arbeitenden Vossschen Maschine verbunden; sobald die Scheiben rotierten und die Streifen eingestellt waren, konnte man ganz nach Belieben die Ladung anbringen, unterbrechen oder umkehren, und dabei genau verfolgen, ob es irgend einen Einfluß hatte, wenn Funken zwischen den Platten übergingen und ihre Spannung infolgedessen plötzlich sank.

Das Ergebnis meiner zweiten Arbeit in den Philosophical Transactions (1897) ist, daß weder ein elektrisches noch ein magnetisches, transversales Feld dem Äther Viskosität erteilt, und bewegte Körper nicht instand setzt, Äther festzuhalten und mitzureißen.

Möglichkeit der Einwirkung eines longitudinalen magnetischen Feldes.

Später versuchte ich es auch mit einem magnetischen Längsfelde, indem ich vier große elektrische Spulen oder Rollen an den Seiten eines quadratischen Rahmens anbrachte, der um 45^0 verdreht in dem optischen Rahmen, Fig. 11 und 13, befestigt wurde, so daß das Licht also längs ihren Achsen wanderte.

Die Einzelheiten dieses Versuches sind nur teilweise veröffentlicht, aber die Hauptsachen findet man in dem Philosophical Magazine 1907, auf S. 495 bis 500.

Das Resultat war auch hier negativ; das will sagen, daß ein Magnetfeld keine merkbare Beschleunigung der Lichtgeschwindigkeit bei Strahlen hervorruft, die in Richtung der Kraftlinien wandern. Die Änderung, die hätte bemerkt werden können, wäre für jede CGS-Einheit der Feldintensität $^1/_9$ mm pro Sekunde gewesen, oder 16 Meilen pro Stunde.

Man kann es auch so ausdrücken: die angewandte magnetische Potentialdifferenz, nämlich 2 Mill. CGS-Einheiten des magnetischen Potentials, beschleunigt das Licht sicher nicht um $^1/_{50}$ Wellenlänge oder darüber.

Es gibt gewisse Gründe, die vermuten lassen, daß durch ein magnetisches Feld tatsächlich eine noch viel geringere Beschleunigung oder Verzögerung im Äther veranlaßt wird; in diesem Falle muß aber der Äther so außerordentlich dicht angenommen werden, daß man die Hoffnung wohl aufgeben muß, bei den praktisch erreichbaren Magnetfeldern die Wirkung jemals entdecken zu können.

Sechstes Kapitel.

Die Dichte des Äthers.

Wir kommen nun zu der Frage, ob es möglich ist, die wirkliche Dichte oder Masse des Äthers im Vergleich zu den Stoffen, an die wir durch unsere Sinne gewöhnt sind, einigermaßen genau zu bestimmen.

Die Berechnung der Dichte oder Masse des Äthers beruht auf dem folgenden Gedankengang, der auf einer elektrischen Theorie des Stoffes aufgebaut ist. Bei dieser Theorie oder Arbeits-

hypothese muß allerdings eine Annahme gemacht werden, aber eine Annahme, die sehr viel Berechtigung hat, wie man aus einer großen Zahl von Abhandlungen ersehen kann (siehe unter anderen mein Buch über Elektronen, ferner den Schluß der neuen Ausgabe von „Modern Views of Electricity“, und auch „Romanes Lecture“, herausgegeben von der Clarendon Press 1903). Die Annahme ist kurz die, daß die Materie in irgend einer Weise aus Elektronen zusammengesetzt ist; die Elektronen wiederum müssen im wesentlichen als Eigentümlichkeiten oder Modifikationen oder bestimmte Strukturen des Äthers selbst aufgefaßt werden. Die Annahme solcher Elektronen genügt tatsächlich, wenn man ihnen die durch das Experiment gefundene Masse und die theoretisch verlangte Größe zuschreibt: denn die Grundlage des Gedankens, welcher jetzt sogar experimentell bewiesen ist, besteht darin, daß ihre Trägheit durch ihre Selbstinduktion verursacht wird, d. h. durch das Magnetfeld, von dem sie umgeben sein müssen, solange sie in Bewegung sind.

Die Masse oder Trägheit eines Elektrons ist tausendmal kleiner als die des Wasserstoffatoms. Seine lineare Ausdehnung, sagen wir sein Durchmesser, beträgt ungefähr den hunderttausendsten Teil von dem, was gewöhnlich als Molekül- oder Atomdimension angesehen wird, nämlich ein zehnmilliontel Millimeter.

Da also Masse und Größe eines Elektrons bekannt sind, so ist damit auch seine Dichte bestimmt, vorausgesetzt, daß seine ganze Masse auf dem Volumen innerhalb seines Umfanges beruht. Aber diese letzte Annahme darf ganz entschieden nicht gemacht werden: seine Masse liegt zum größten Teil außerhalb und muß aus magnetischen Überlegungen berechnet werden (s. Anhang 2).

Diese Einzelheiten finden sich in meiner Arbeit in Philosophical Magazine, April 1907, und im XVII. Kapitel von Modern Views of Electricity. Hier wird es genügen, wenn ich, ohne die Gründe zu wiederholen, sage, daß die Resultate der verschiedenen Rechnungen sehr wenig voneinander abweichen, obwohl der Weg ein ganz verschiedener war; die berechneten Zahlen für die Dichte sind alle von derselben Größenordnung, nämlich ungefähr 10^{12} CGS-Einheiten — das ist 1 Bill. Gramm pro Kubikzentimeter, oder mit anderen Worten, tausend Tonnen pro Kubikmillimeter.

Wir hatten durchwegs Grund anzunehmen, daß der Äther inkompressibel ist (siehe Modern Views of Elektricity, I. Kapitel).

Meiner Meinung nach **muß** der Grundstoff, der den ganzen Raum erfüllt — wenn es einen solchen gibt —, tatsächlich inkompressibel sein; sonst müßte er aus einzelnen Teilen zusammengesetzt sein und wir müßten dann wieder nach etwas anderem suchen, was die Zwischenräume ausfüllt.

Da der Äther inkompressibel ist, und ein Elektron der Annahme nach einzig und allein aus Äther bestehen soll, so folgt daraus, daß es weder eine Verdichtung noch eine Verdünnung des Äthers sein kann, sondern daß es irgend ein durch eigentümliche Struktur oder sonstwie ausgezeichneter Teil des Äthers sein muß. Es könnte z. B. etwas ähnliches sein wie ein Wirbelring, also kinetisch, d. h. durch seine Rotationsbewegung von dem übrigen Äther ausgezeichnet; oder es könnte auch statisch ausgezeichnet sein und wäre dann etwa ein Spannungszentrum oder ein Verdrehungsbereich, oder etwas, was wir überhaupt noch nicht imstande sind, uns genau vorzustellen, obwohl in dieser Hinsicht vielerlei Vorschläge gemacht worden sind.

Das einfachste ist, wir stellen es uns ungefähr so vor, wie einen Knoten an einer Schnur. Der Knoten unterscheidet sich in keiner Weise von der übrigen Schnur, außer in der geknüpften Struktur; er hat dieselbe Dichte wie die übrige Schnur, und doch ist er davon unterschieden; soll er aufhören Knoten zu sein, so muß man ihn aufknüpfen; ein Vorgang, den wir beim Elektron noch nicht nachmachen können; wenn das je möglich wird, dann würden die Elektronen in dem undifferenzierten, allgemeinen Äther aufgelöst werden, der unabhängig von dem Teil ist, den wir Stoff nennen.

Was aber für uns hier von Wichtigkeit ist, ist nur das eine: daß der undifferenzierte einfache Äther dieselbe Dichte besitzt wie der verknotete oder anderweitig zu Elektronen umgestaltete Äther. Darum führt das oben angegebene Argument, wenn es richtig ausgearbeitet wird, zu dem Schlusse, daß die Dichte des Äthers der Größenordnung nach 10^{12} mal so groß ist wie die des Wassers.

Diese Angabe sollte eigentlich nicht überraschend sein — obwohl ich zugebe, daß sie in Wirklichkeit sehr überraschend ist — insofern, als viele konvergierende Schlußfolgerungen darauf hinweisen, daß die gewöhnliche Materie eine sehr poröse, luftige Substanz ist, bei der die Zwischenräume im Vergleich zu den

Bausteinen, aus denen sie besteht, sehr groß sind. Wenn wir uns die Materie aus Elektronen zusammengesetzt denken, so müssen wir sie uns nach Art eines Sonnensystems, oder besser noch nach Art einer Milchstraße vorstellen, wo unzählige Punkte verstreut sind, mit weiten Räumen dazwischen, so daß die mittlere Dichte von all den Punkten oder Massenteilchen zusammengenommen, d. h. also ihre Masse verglichen mit dem Raum, den sie einnehmen, außerordentlich klein ist.

Es ist überraschend, wie klein das Volumen der wirklichen Materie im Vergleiche zum leeren Raume ist, wenn man den weiten kosmischen Raum betrachtet, wie wir gleich zeigen werden; und nun finden wir dieselben Verhältnisse in kleinem Maßstabe bei den Stoffatomen. Selbst die für unsere Begriffe dichtesten Körper sind von ganz verschwindender Masse gegenüber dem unmodifizierten Äther, der den weitaus größeren Teil seines Volumens ausfüllt.

Wenn wir von der Dichte der Materie sprechen, so meinen wir damit in Wirklichkeit, obwohl wir uns dessen nicht bewußt sind, die Haufendichte des modifizierten Äthers, der die Materie bildet; der Äther wird dabei nicht als Einheit aufgefaßt, sondern als Haufen; gerade so, wie wir auch von der mittleren oder Haufendichte einer Wolke oder eines Nebels sprechen können. Als Einheit aufgefaßt, hat eine Wolke die Dichte des Wassers; als Haufen ist sie von so dünner, unfühlbarer Struktur, daß sie fast gar keine Dichte besitzt. Dasselbe ist der Fall bei den Spinnweben, vielleicht auch bei den Kometschweifen und bei der Milchstraße, beim Kosmos und — wie es sich jetzt herausstellt — bei der gewöhnlichen Materie selbst.

Fassen wir die mittlere Dichte des materiellen Kosmos ins Auge. Sie ist unglaublich klein. Oder mit anderen Worten: der Raum, den die Materie im Weltall einnimmt, ist gegen den gesamten Raum eine fast unendlich kleine Größe. Lord Kelvin kommt zu dem Schlusse, daß er wirklich unendlich klein sein muß (Philosophical Magazine, Aug. 1901 und Jan. 1902), das heißt, daß der Weltenraum unendlich viel größer ist als das Volumen der darin enthaltenen Materie. Sonst müßte die gesamte Gravitationskraft — oder wenigsten das gesamte Gravitationspotential — viel größer sein, als es nach der Beobachtung ist.

Lord Kelvin schätzt, daß das ganze sichtbare Weltall innerhalb einer Parallaxe von $^1/_{1000}$ Bogensekunde 1000 Mill. unserer Sonnen gleichkommt; und diese Materie würde, so verteilt wie sie ist, eine mittlere Dichte von $1{,}6 \times 10^{-23}$ g/ccm besitzen. Es ist sehr bemerkenswert, wie außerordentlich gering diese mittlere oder Haufendichte der Materie im sichtbaren Weltenraume ist. Die auf 10^{-23} CGS geschätzte Dichte bedeutet, daß der sichtbare Weltenraum um so viel dünner ist als ein „Vakuum" von einhundert milliontel Atmosphäre als dieses Vakuum dünner ist als Blei.

Da wir Grund haben, anzunehmen, daß jede gewöhnliche Masse, ebenso wie das Weltall, aus getrennten Teilchen besteht mit Zwischenräumen, die groß sind gegenüber den Teilchen selbst, so können wir daraus folgern, daß die Haufendichte gewöhnlicher Stoffe, wie z. B. des Wassers oder des Bleies, sehr klein ist im Vergleich mit dem kontinuierlichen Medium, in dem sie existieren und aus dem sie vermutlich in Wirklichkeit bestehen. Es würde sich also das Blei in bezug auf die Dichte etwa so zum Äther verhalten, wie das oben erwähnte Vakuum zum Blei. Der Grundstoff selbst muß überall gleich dicht sein, einerlei, ob materialisiert oder frei.

Siebentes Kapitel.

Weiteres über die Dichte und die Energie des Äthers.

Es könnte jemand auf den Gedanken kommen, daß ich die Materie als eine Verdünnung des Äthers auffasse, da ich ihr eine so außerordentlich geringe Dichte oder spezifisches Gewicht zuschreibe und dem Äther eine so ungeheuer große. Das ist aber durchaus nicht der Fall. Ich vertrete im Gegenteil die Ansicht, daß der Äther ein vollkommenes Kontinuum ist, ein absolutes Plenum, und daß daher eine Verdünnung ausgeschlossen ist. Der Äther innerhalb der Materie ist genau so dicht wie außerhalb und nicht dichter. Eine materielle Einheit — sagen wir ein Elektron — ist nichts weiter als eine Eigenheit oder Singularität des Äthers selbst, der überall vollkommen gleich dicht ist. Was wir als Materie „empfinden", ist ein Aggregat oder ein Haufen von unzähligen solcher Einheiten.

Wie kann man dann sagen, daß die Materie millionenmal dünner oder weniger substanziell ist als der Äther, aus dem sie gebildet wird? Wer hierin eine Schwierigkeit sieht, soll sich einmal Rechenschaft ablegen über den Begriff der mittleren oder Haufendichte irgend eines diskontinuierlichen Systems, z. B. Pulver, Gas, chemischer Niederschlag, Schneesturm, Wolke, Milchstraße.

Sollte jemand einwenden, daß es nicht erlaubt sei, ein offensichtlich getrenntes System, wie es ein Sternhaufen ist, mit einer scheinbar kontinuierlichen Substanz wie Luft oder Blei zu vergleichen, so antwortete ich, daß es sehr wohl erlaubt ist, denn Luft und jeder andere bekannte Stoff ist im Wesen ein Aggregat von Einzelteilen, und wenn wir von ihrer Dichte sprechen, so ist damit immer die mittlere Dichte gemeint. Wir kennen ihre individuelle Atomdichte nicht einmal genau.

Der Ausdruck „spezifisches Gewicht oder Dichte eines Pulvers" ist zweideutig. Er kann entweder das spezifische Gewicht des trockenen Pulvers bedeuten, wie etwa beim Schnee, oder er kann das spezifische Gewicht der Teilchen bedeuten, aus denen es zusammengesetzt ist, z. B. des Eises.

Ebenso können wir unter Dichte der Materie entweder die Dichte des Stoffes verstehen, aus der ihre kleinsten Teile bestehen, das wäre der Äther; oder aber, wie wir es praktisch immer tun, die Dichte des zusammengesetzten Stückes, das wir sehen und fühlen, des Wassers oder Bleies oder Eisens, oder was es sonst sein mag.

Wenn ich sage, daß die Dichte der Materie gering ist, so meine ich natürlich diese letztgenannte, gewöhnliche Dichte. Wenn ich sage, daß die Dichte des Äthers sehr groß ist, so meine ich damit, daß der wirkliche Stoff, aus welchem jene überaus porösen Körper bestehen, von einer fast unglaublichen Dichte ist. Es ist nur eine andere Ausdrucksweise dafür, daß die letzten Bestandteile der Materie gering an Zahl sind und weit auseinander liegen, d. h., daß sie ungemein klein sind im Vergleich zu den Zwischenräumen; ebenso wie die Planeten des Sonnensystems gering an Zahl sind und weit auseinander liegen — die Zwischenräume sind riesig im Vergleich mit dem Raume, den die materiellen Teile einnehmen.

Ich möchte noch bemerken, daß es doch keine unvernünftige Behauptung ist, wenn man sagt, daß die Dichte eines Kontinuums notwendig größer sein muß, als die Dichte irgend eines unzusammenhängenden Aggregates, wenigstens ganz gewiß nicht dann,

wenn die Bestandteile des Aggregates aus dem Stoff des Kontinuums bestehen. Denn das erstere ist allgegenwärtig, überall, ohne Unterbrechung irgend welcher Art, während das letztere Lücken hat, es ist da und dort, aber nicht überall.

Tatsächlich ist dieses selbe Argument vor langer Zeit von Robert Hookes hervorragendem Geiste aufgestellt worden; ich führe hier eine Stelle an, die Professor Poynting in seinen nachgelassenen Schriften entdeckt und für mich abgeschrieben hat:

„Was die Materie anbetrifft, so halte ich sie im wesentlichen für unveränderlich, und da das Wesentliche an ihr eine bestimmte Ausdehnung ist, so kann ihre Quantität nicht geändert werden, weder durch Kondensation, noch durch Verdünnung; d. h. in demselben Volumen oder in demselben Inhalt kann nicht mehr oder weniger von jener Kraft oder Realität, oder, was es sonst ist, sein, sondern gleiche Volumen enthalten gleiche Quantitäten von Materie oder sind angefüllt damit oder bestehen selbst daraus; und der dichteste oder schwerste oder stärkste Körper der Welt enthält nicht mehr Materie als der feinste, dünnste, leichteste oder schwächste, wie z. B. Gold und Äther oder die Substanz, die ein ausgepumptes Gefäß oder den Raum über dem Quecksilber eines Barometers erfüllt. Ja, dieser Raum ist, wie ich später beweisen will, mehr mit Äther angefüllt oder als Ätherkörper im gewöhnlichen Sinne des Wortes dichter, als das Gold mit Gold angefüllt ist; und das kommt daher, weil die eine Masse, nämlich der Äther, ganz aus Äther besteht, aber die Goldmasse, die wir für Gold ansehen, nicht ganz Gold ist, sondern mit Äther gemischt ist, und zwar sehr viel mehr, als man für gewöhnlich annimmt, so daß also der Raum, den man sich für gewöhnlich fälschlicherweise als leer vorstellt, ein dichterer Körper ist als das Gold als Gold dicht ist. Wenn wir aber den ganzen Inhalt des einen mit dem Inhalt des anderen bei derselben oder der gleichen Ausdehnung vergleichen, dann enthalten beide dieselbe Materie oder denselben Körper.“ (Aus den nachgelassenen Schriften von Robert Hooke 1705, S. 171—172.)

Newtons Zeitgenossen hatten die klare Ausdrucksweise nicht, die ihn selbst so auszeichnet; aber Prof. Poynting deutet diesen sonderbaren Versuch, sich verständlich zu machen, wie folgt: „Der ganze Raum ist mit gleich dichter Materie erfüllt. Gold erfüllt nur einen kleinen Teil von dem ihm zuerteilten

Raum und hat doch eine große Masse. Um wieviel größer muß daher die ganze Masse sein, welche den Raum erfüllt."

Die stillschweigende Annahme, die dabei gemacht wird, ist die, daß die Bestandteile des Aggregates alle aus ein und demselben kontinuierlichen Stoffe bestehen, oder faktisch: daß die Materie aus Äther besteht. Zu Hookes Tagen kann diese Annahme nichts weiter gewesen sein als eine Hypothese. Aber sie gehört zu jenen Hypothesen, welche die Zeit rechtfertigt, sie gehört zu den Hypothesen, die — wir fühlen es alle — eben jetzt zur Wahrheit werden [1]).

Aber wir hängen nicht von dieser Beweisführung ab; die experimentelle Bestimmung der Elektronenmasse und die mathematische Schätzung des Elektronenvolumens — das ist es, worauf wir weiterbauen. Denn die Rechnung zeigt, daß sich, wie immer die Masse gemessen wird, ob elektrostatisch oder magnetisch oder hydrodynamisch, das Verhältnis von Masse zu effektivem Volumen nur um einen Zahlenkoeffizienten unterscheiden kann, aber immer von der gleichen Größenordnung sein muß, es sei denn, daß wir zu der Entdeckung kämen, daß das negative Elektron gar nicht die wirkliche oder hauptsächliche Stoffeinheit ist, sondern nur ein Bestandteil zweiter Ordnung, während die Materie zum größeren Teile aus der dickeren, positiven Ladung besteht. Aber diese Hypothese ist vorläufig zu vage, um brauchbar zu sein. Überdies wäre die Masse einer solchen Ladung in diesem Falle nicht zu erklären, und es wäre daher ein weiterer Schritt nötig, der uns wahrscheinlich so ziemlich zu derselben Dichte des Äthers führen würde, wie sie aus Rechnungen hervorgeht, die auf dem vertrauteren und handlicheren negativen Elektron aufgebaut sind (siehe Anhang 2).

Man könnte fragen, warum man überhaupt eine endliche Dichte für den Äther annimmt? Warum man ihn nicht auch unendlich dicht annimmt — was immer das bedeuten mag —, wenn man ihn schon für unendlich kontinuierlich erklärt; warum

---

[1]) Es scheint noch nicht beachtet worden zu sein, daß Newton in der 22. Frage, die in der Einleitung angeführt ist, eine sonderbare Andeutung in derselben Richtung macht, wenn er sie auch sofort wieder fallen läßt. Er scheint seine Fragen nicht sorgfältig redigiert zu haben; wahrscheinlich sind sie erst nach seinem Tode veröffentlicht worden.

nicht alle seine Eigenschaften als unendlich annehmen? — Das wäre wohl zulässig, wenn die Lichtgeschwindigkeit nicht wäre. Der Äther hat sich dadurch verraten, daß er Wellen mit einer endlichen meßbaren Geschwindigkeit fortpflanzt, und hat uns dadurch die Möglichkeit gegeben, ihm mit Rechnung und Zahlen beizukommen. Dabei hat sich erwiesen, daß seine Eigenschaften in der Hauptsache endlich sind, wie unendlich auch seine ganze Ausdehnung sein mag. Es sei nebenbei bemerkt, daß die Gravitation bis jetzt noch keine solche „endliche" Eigenschaft gezeigt hat, deshalb wissen wir auch so wenig von ihr.

Die Energie des Äthers.

Anstatt zu sagen, daß die Dichte des Äthers groß ist, wird man besser sagen, daß die Dichte der Materie klein ist, wie wir auch sagen, daß die Dichte des sichtbaren Weltalls klein ist, obwohl ein einzelnes Stück ungefähr die Dichte von Eisen oder Stein besitzt.

Auf die Gefahr hin, mich zu wiederholen, habe ich dies mehrmals erklärt, weil hierbei leicht ein Mißverständnis entstehen kann. Aber das wirklich Wichtige am Äther ist nicht seine Dichte an und für sich, sondern die Energie, welche die Dichte auf Grund einer kinetischen Elastizitätstheorie mit einbegreift. Es ist nicht unmöglich — wie hoffnungslos es jetzt auch erscheinen mag —, daß einmal ein Teil dieser Energie in irgend einer Modifikation nützlich verwendbar wird.

Die kinetische Elastizitätstheorie von Lord Kelvin ist recht kompliziert, ich will daher nur ganz kurz darauf eingehen. Aber zuvor möchte ich ein Bedenken beseitigen, dem man öfters begegnet: das Bedenken, wie ein Medium von so großer Dichte gleichzeitig einen so leicht durchdringlichen Flüssigkeitscharakter haben kann, daß es ganz ohne Reibung und Viskosität den sich hindurchbewegenden Körpern keinerlei Widerstand entgegensetzt. Tatsache ist, daß zwischen Dichte und Viskosität gar kein Zusammenhang besteht.

Dichte und Viskosität sind durchaus verschiedene Dinge; wenn keine Flüssigkeitsreibung vorhanden, so kann eine Flüssigkeit jede beliebige Dichte haben, ohne einer konstanten Geschwindigkeit irgend ein Hindernis zu bereiten. Der Beschleuni-

ung allerdings widersetzt sie sich, aber dafür liegt der Grund
auptsächlich in der Trägheit oder der Masse des bewegten Körpers.
ie trägt zu seinem Momente bei; wenn die Flüssigkeit überall
t, so ist es nur theoretisch möglich, den Anteil der Trägheit,
elcher der verdrängten Flüssigkeit zukommt, und denjenigen
es bewegten Körpers auseinanderzuhalten und getrennt zu be-
andeln. —

Was die Elastizität des Äthers anbetrifft, so ist diese sofort
us der Geschwindigkeit bestimmbar, mit der er Wellen fort-
lanzt. Diese Geschwindigkeit, die Lichtgeschwindigkeit, ist
enau bekannt zu 3×10^{10} cm pro Sekunde. Das Verhältnis der
astizität oder Steifheit zur Dichte ist gleich dem Quadrat dieser
eschwindigkeit, d. h. also, die Elastizität muß das 9×10^{20}fache
r Dichte sein, oder in anderen Worten 10^{33} CGS-Einheiten. Das
eine unmittelbare Folge aus der Dichteberechnung und der
tsache der Lichtgeschwindigkeit; wenn die Dichte zugegeben
rd, kann das andere nicht bestritten werden.

Aber wir müssen weitergehen und fragen: woher kommt
ese Steifheit? Wenn der Äther nicht aus einzelnen Teilen be-
ht und wenn er flüssig ist, wie kann er dann die Steifheit
es festen Körpers besitzen, so daß er transversale Wellen über-
tteln kann? Um dies zu beantworten, müssen wir auf die
etische Elastizitätstheorie von Lord Kelvin zurückkommen:
ach beruht diese Eigenschaft auf einer Rotationsbewegung,
f einer inneren feinkörnigen Bewegung, die sich über den
zen Ätherraum erstreckt; es ist keine Fortbewegung, sondern
e Kreisbewegung auf in sich geschlossenen Kurven, eine Wirbel-
vegung, die viel feinkörniger ist als Lichtwellen, oder als Atom-
r selbst als Elektronenstruktur.

Wenn die Elastizität irgend eines Mediums auf solche Weise
etisch erklärt wird, so ist eine notwendige Folge davon, daß
Geschwindigkeit dieser inneren Bewegung mit der Fort-
nzungsgeschwindigkeit der Wellen vergleichbar sein muß;
. also, daß die innere Zirkulation, welcher jeder Ätherteil
erworfen ist, mit einer Geschwindigkeit von der Größen-
nung der Lichtgeschwindigkeit vor sich gehen muß.

Das ist also die Theorie, die auf Bewegung beruhende
stizitätstheorie, die in Verbindung mit der Berechnung der
hte die innere Energie des Äthers so riesig erscheinen läßt.

Nach ihr ist in jedem Kubikmillimeter des Raumes eine Masse enthalten, die wir zu 1000 t angeben würden, wenn es Materie wäre, und jeder Teil dieser Masse rotiert im Innern ungefähr mit Lichtgeschwindigkeit; in jedem solchen kleinen Raumteile ist daher ein Energiebetrag von der Größenordnung 10^{29} Erg oder, was dasselbe ist, von 3×10^{11} Kilowatt-Jahrhundert aufgespeichert; das ist die Energie einer Anlage von 1 Million PS, die 40 Millionen Jahre ununterbrochen arbeitet.

Kurz zusammengefaßte Angaben über den Äther

(wie sie vom Autor im Jahre 1907 der British Association in Leicester mitgeteilt wurden).

1. J. J. Thomson stellte im April 1881 im Philosophical Magazine die Theorie auf, daß eine elektrische Ladung etwas mit Trägheit Gleichwertiges besitzen muß.

2. J. J. Thomson entdeckte auf experimentellem Wege Massenteilchen, die kleiner waren als die Atome, und teilte die Entdeckung im Jahre 1899 der Sektion A in Dover mit.

3. Von vielen Seiten wurde die Ansicht ausgesprochen, daß diese Massenteilchen nur aus elektrischen Ladungen beständen; durch die Versuche von Kaufmann im Jahre 1902 wurde diese Ansicht bestätigt.

4. Die Konzentration der Ionenladung, die für die beobachtete Trägheit der Massenteilchen nötig ist, kann leicht berechnet werden; infolgedessen ist die Größe der elektrischen Kerne oder Elektronen gegeben.

5. Die alte Wahrnehmung, daß ein magnetisches Feld kinetisch ist, wurde von Kelvin, Heaviside, Fitzgerald, Hicks und Larmor weiter entwickelt; sie faßten das Feld meistens als einen Strom in Richtung der Kraftlinien auf, obwohl es vielleicht ebensogut als Strom senkrecht dazu, in Richtung des Poyntingschen Vektors, aufgefaßt werden kann. Die erstere Lehre wird von Larmor aufrecht gehalten, als in Übereinstimmung mit dem Prinzip der geringsten Arbeit und mit dem absolut stationären Charakter des Äthers als Ganzes; die letztere Anschauung verträgt sich besser mit den Theorien von J. J. Thomson.

6. Eine bewegte Ladung ist bekanntlich von einem Magnetfelde umgeben; die Bewegungsenergie kann durch die Energie

es Begleitfeldes ausgedrückt werden, welche ihrerseits als die nergie des Ätherstromes angesehen werden muß.

7. Wenn man dies alles berücksichtigt und den Äther außerem als vollkommen inkompressibel annimmt auf Grund von avendishs elektrischem Versuche, auf Grund der Tatsachen ber die Gravitation und auf Grund der allgemeinen Idee eines ntinuierlichen, verbindenden Mediums — dann muß man nach s Autors Meinung für den Äther eine Dichte von der Größendnung 10^{12} g pro ccm einsetzen, wenn man ihn dynamisch bendeln will. (Siehe Anhang 2.)

8. Die Existenz von transversalen Wellen im Innern einer üssigkeit kann nur auf gyrostatische Weise erklärt werden, d. h. rch die kinetische oder Rotationselastizität von Lord Kelvin. e innere Wirbelgeschwindigkeit einer solchen Flüssigkeit muß gefähr so groß sein wie die Geschwindigkeit der fortgepflanzten ellen.

9. Faßt man dies alles zusammen, so folgt daraus, daß die nere Wirbelenergie des Äthers von der Größenordnung 10^{33} Erg o ccm sein muß.

Schluß. — Es muß hiernach jeder Kubikmillimeter des Raumes e Masse haben, die 1000 t entspricht, und jeder Teil dieser sse muß mit Lichtgeschwindigkeit in sich rotieren.

Achtes Kapitel.

Äther und Materie.

e mechanische Notwendigkeit eines kontinuierlichen, raumerfüllenden Mediums.

In diesem Kapitel will ich das bisher Gesagte der Hauptne nach in einfacher, folgerichtiger Weise zusammenfassen. 30 Jahren überreichte Clerk Maxwell der Royal Instion of Great Britain eine bemerkenswerte Denkschrift über irkung in die Ferne". Sie ist in der Zeitschrift R. J., Vol. VII öffentlicht und ich möchte hier die Aufmerksamkeit darauf en. Die meisten Naturphilosophen halten und hielten eine kung in die Ferne durch einen leeren Raum für unmöglich r, mit anderen Worten, sie glauben, daß ein Körper nur da ken kann, wo er ist, und nicht da, wo er nicht ist. Wo er

eigentlich ist, ist eine weitere Frage, die Aufmerksamkeit und mehr als eine oberflächliche Antwort verlangt. Denn sowohl aus der hydrodynamischen oder Wirbeltheorie, wie auch aus der elektrischen Theorie geht hervor, daß jedes Stoffatom einen allgemeinen, wenn auch fast unendlich kleinen Einfluß ausübt, der sich überallhin erstreckt; denn es gibt keine scharfe Grenze, keinen beschränkten Umkreis für das durch seine Existenz gestörte Gebiet. Die Kraftlinien einer isolierten elektrischen Ladung erstrecken sich unbegrenzt in den Raum. Durch eine Ladung von entgegengesetztem Vorzeichen werden sie zwar gekrümmt und konzentriert, aber mit Hilfe des Prinzipes der Superposition kann man jede Ladung für sich behandeln, als ob die andere nicht da wäre.

In diesem Falle haben also die betreffenden elektrischen Kerne keine „Wirkung in die Ferne", im technischen Sinne des Wortes, so weit ihre Wirkung auch reichen mag.

Manche Philosophen nehmen an, daß Geist direkt auf Geist wirken kann ohne vermittelnden Mechanismus, und das ist manchmal als Beispiel für eine wirkliche Wirkung in die Ferne angeführt worden; man kann sich aber keine richtige Vorstellung oder physikalisches Modell eines solchen Prozesses machen; auch weiß man nicht, ob „Raum" und „Distanz" im Bereich der Psychologie irgend einen bestimmten Sinn haben. Das Bindeglied zwischen Geist und Geist kann etwas ganz anderes sein als physikalische Nähe; wenn ich Wirkung in die Ferne durch einen leeren Raum leugne, so leugne ich damit noch keineswegs Telepathie oder andere nicht physikalische Wirkungen. Denn wenn auch die Gehirnstörung als wesentliche Begleiterscheinung der Geistestätigkeit beim Geben oder Empfangen sicher physikalischer Natur ist, so wissen wir doch von der Wärme, daß eine materielle Bewegung an einem Orte auf Kosten einer entsprechenden Bewegung an einem anderen Orte hervorgerufen werden kann, ohne daß sie übertragen würde, oder eine materielle Verbindung zwischen den zwei Orten bestehe; denn das, was durch das Vakuum wandert, ist nicht Wärme.

Sobald aber physische Bewegung im Spiele ist, suche ich nach einem Medium. Es braucht kein wirklicher Stoff zu sein, aber irgend etwas muß es sein; es muß irgend ein verbindendes Zwischenglied existieren, sonst kann die Übertragung nicht stattfinden.

Eine Anziehung durch wirklich leeren Raum kann es nicht geben. Und selbst wenn ein materielles Zwischenglied vorhanden und lie Verbindung klar ist, selbst dann ist die Erklärung noch nicht usreichend; denn wer den Vorgang der Anziehung kennt, weiß, laß ein Körper sich tatsächlich nur bewegt, weil er von rückvärts gestoßen wird. Die hauptsächliche Kraft in der Natur ist lie vis a tergo. Wenn wir daher auch die Spuren oder den verindenden Faden entdeckt haben, so stoßen wir doch gegen das Vort „Kohäsion", und dessen letzter Sinn sollte uns geläufig sein. Varum der ganze Stab folgt, wenn ich an einem Ende ziehe, das st etwas, was erklärt sein will. Die einzig mögliche Erklärung etzt in irgend einer Form ein kontinuierliches Medium voraus, as die einzelnen voneinander getrennten Teile oder Atome der Iaterie verbindet.

Wenn eine Stahlfeder gebogen oder verdreht wird, was ird dann in Wirklichkeit gespannt? Die Atome nicht, die Atome erden nur verrückt; die Bindeglieder sind es, die gedehnt werden, as verbindende Medium, der Äther. Die Verdrehung einer Feder t in Wirklichkeit eine Verdrehung des Äthers. Der Äther ist er Sitz aller Kraft, der Stoff kann nur bewegt werden. Soviel ir wissen, besteht keine Berührung zwischen den Stoffatomen; ist die Frage, ob irgend ein Körper einen anderen näher beihren kann, als ein Komet die Sonne berührt, wenn er scheinbar on ihr zurückprallt; aber die Atome sind untereinander ebenso rbunden wie Komet und Sonne, nämlich durch ein stetiges, ckenloses Plenum. Stoff wirkt auf Stoff nur durch den Äther. ber ob er etwas vom Äther ganz Verschiedenes und Getrenntes er nur ein veränderter Teil des Äthers ist, in der Weise verdert, daß er Bewegungen ausführen kann und doch mit dem nzen übrigen Äther, der sich überall weit über die Grenzen s veränderten und fühlbaren Teiles ausdehnt, verbunden bleibt, s sind Fragen, die gestellt werden müssen und die, man rf wohl sagen, eben im Begriffe sind, beantwortet zu werden.

Jede solche Antwort enthält irgend eine Ansicht über das gemeine und möglicherweise unendliche, gleichförmige, allgenwärtige Bindemittel, den Weltäther.

Man hat etwas spöttisch gesagt, daß der Äther in England standen sei. Das ist wahr, wenn auch übertrieben. Ich könnte ar sagen, daß er zum größten Teil in der Royal Institution

entstanden ist; denn ich will nun das Beweismaterial kurz zusammenfassen, auf welchem seine Kenntnis und der Glaube an seine Existenz beruht.

Als allererster erkannte Newton die Notwendigkeit eines Mediums, um die Gravitation zu erklären. In seinen „optischen Fragen“ zeigt er, daß, wenn der Druck dieses Mediums in der Nähe von dichten Körpern größer ist als in großen Entfernungen, daß dann dichte Körper aufeinander zugetrieben werden, und daß, wenn der Druck umgekehrt proportional mit der Entfernung abnimmt, daß dann das Gesetz für die Kraft das umgekehrte Quadratgesetz der Gravitation wird.

Um die Gravitation zu erklären, ist also nichts weiter nötig, als eine Druckverminderung oder Spannungserhöhung, hervorgerufen durch die Bildung einer Stoffeinheit, das ist eines Elektrons. Und obwohl wir noch nicht wissen, was ein Elektron ist — ob ein Spannungszentrum oder was sonst für ein Ausnahmezustand des Äthers —, so macht es doch keine Schwierigkeiten, uns vorzustellen, daß jedesmal, wenn ein Elektron entsteht, eine kleine, fast unendlich kleine Spannung oder versuchte Verdünnung im Äther dadurch erzeugt wird, die nur dann wieder verschwindet, wenn es sich auflöst oder zerstört wird. Genau genommen ist es keine wirkliche „Spannung“, sondern nur eine „Kraft“, denn es ist nichts da, was nachgibt, es ist nur ein Zug, der sich nach allen Richtungen bis in die Unendlichkeit ausbreitet.

Die Spannung, welche auf die Einheit des Stoffes kommt, ist lächerlich klein und trotzdem wird sie in der Gesamtheit riesig groß, z. B. in der Nähe eines Planeten.

Die Kraft, mit welcher der Mond in seiner Bahn gehalten wird, ist so groß, daß damit ein Stahlstab, der 400 Meilen dick ist und eine Festigkeit von 30 t pro Quadratzoll hat, auseinandergerissen werden könnte, so daß, wenn Mond und Erde durch Eisen statt durch die Schwerkraft zusammengehalten würden, ein ganzer Pfeilerwald nötig wäre, um das System einmal im Monat um das gemeinsame Gravitationszentrum zu drehen. Eine solche Kraft setzt enorme Spannungen oder Drucke im Medium voraus. Maxwell berechnet, daß in der Nähe der Erde die Gravitationskraft, deren Sitz wir in dem unsichtbaren Medium annehmen, 3000 mal größer ist als die Zerreißfestigkeit des besten Eisens; und in der Nähe der Sonne wäre sie noch 2500 mal größer.

Mir kam die Frage in den Sinn, was geschehen würde, wenn alle sichtbaren Weltkörper, die Lord Kelvin auf ungefähr 1000 Millionen Sonnen schätzt, in einem Körper von berechenbarer Dichte[1]) vereinigt wären; ob die Spannung dann nicht so groß wäre, daß sie zu einer Ätherzerreißung führen würde; das müßte dann eine zersplitternde Explosion geben, welche die einzelnen Teile wieder gleich einem Riesennebel in die Tiefen des Raumes fortführte. Denn das Maximum der Spannung wäre im Innern einer solchen Masse, und es müßte irgend etwas geschehen, sobald sie zu dem Betrage von 10^{33} Dyn pro qcm anstiege. Ich glaube zwar nicht, daß dies der Grund dafür sein kann, daß die Gravitationsmassen im Weltenraum so verstreut sind, aber man sollte meinen, es müßte einen Grund dafür geben.

Es ist jedoch noch zu wenig bekannt über den Vorgang der Gravitation, um sie als den stärksten Beweis für die Existenz des Äthers anführen zu können. Das älteste gültige und entscheidende Verlangen nach einem Äthermedium rührt von der Wellentheorie des Lichtes her, die zu Beginn des vorigen Jahrhunderts von dem Professor für Naturphilosophie an der Royal Institution, Dr. Thomas Young, mitbegründet worden ist.

Es gibt keinen gewöhnlichen Stoff, der fähig wäre die Wellen und Schwingungen fortzupflanzen, die wir Licht nennen. Es liegt dies an ihrer Geschwindigkeit, an der Art der Schwingungen und an der Leichtigkeit, mit der sie ein Vakuum durchsetzen.

So klar und allgemein ist es anerkannt worden, daß Wellen immer Wellen von irgend etwas sein müssen, und im Falle des Lichtes von irgend etwas, was nicht Materie ist, daß Lord Salisbury in seiner Präsidentenrede in der British Association of Oxford dem Äther vorwarf, daß er nicht viel mehr sei als der Nominativ des Zeitwortes „undulate“. Gewiß ist er das, aber ebenso gewiß ist er auch mehr als das; zur Erläuterung dieser lichtsendenden Eigenschaften will ich einen Paragraphen aus dem schon früher erwähnten Artikel von Clerk Maxwell anführen:

„Der weite Raum zwischen Sternen und Planeten wird nicht mehr als Wüstenei angesehen werden, die dem Schöpfer unbrauchbar

---

[1]) Bei der Ausrechnung fand ich aber, daß die notwendige Konzentration unwahrscheinlich groß wurde; das zeigt, daß eine solche Masse untauglich ist. (Siehe Anhang I.)

däuchte zum Unterbringen der mannigfaltigen Symbole seines Reiches. Wir werden sehen, daß jenes wunderbare Medium es ausfüllt, in einer Weise ausfüllt, daß keine menschliche Gewalt es von dem kleinsten Raumteile entfernen oder den geringsten Riß in seine unendliche Kontinuität reißen kann. Es erstreckt sich lückenlos von Stern zu Stern; und wenn ein Wasserstoffmolekül im Sirius in Schwingungen gerät, so nimmt das Medium diese Schwingungen auf, trägt sie einige Jahre lang in seinem unermeßlichen Schoße, um sie dann zu rechter Zeit in richtiger Folge und Zahl an das Spektroskop von Mr. Huggins in Tulse Hill abzuliefern."

Damit ist zur Genüge hervorgehoben, daß das Auge tatsächlich ein Sinnesorgan für den Äther ist — das einzige, durch das der Äther sich uns bemerklich machen kann, und daß die Wahrnehmung von Schwingungen in diesem Medium, die Wahrnehmung ihrer Richtung und die daraus gezogenen Folgerungen über die Natur des aussendenden Körpers, das ist, was wir „Gesicht" oder „Sehen" nennen.

Ich komme nun zu einer anderen Eigenschaft des Äthers, zu den elektrischen und magnetischen Erscheinungen. Ich möchte mir erlauben, dafür Faraday ganz kurz zu zitieren, dessen ganzes Leben ja sozusagen darauf gerichtet war, ein besseres Verständnis für diese Äthererscheinungen zu erlangen. Sein Monument in der Eingangshalle der Royal Institution Albemarle Street kann tatsächlich als Monument des Entdeckers der elektrischen und magnetischen Eigenschaften des Äthers bezeichnet werden.

Faraday stellte die Vermutung auf, daß dasselbe Medium, das die Lichtverbreitung bewirkt, auch Träger der elektromagnetischen Erscheinungen ist. „Wenn ich bedenke, wie sich das Vakuum zur magnetischen Kraft verhält", sagt er, „und daß sich die magnetischen Vorgänge außerhalb des Magneten abspielen, so neige ich für meinen Teil viel mehr zu der Ansicht, daß die Kraftübertragung außerhalb des Magneten vor sich geht, als daß es sich nur um Anziehung und Abstoßung aus der Ferne handelt. Eine solche Wirkung könnte vom Äther ausgehen, denn es ist wohl anzunehmen, daß der Äther, wenn er existiert, noch anderes leistet, als bloß Strahlen fortzupflanzen."

In dieser Vermutung wurde er durch spätere Untersuchungen sehr bestärkt.

Man ist augenblicklich dabei, eine weitere Eigenschaft des Äthers zu entdecken: nämlich daß der Äther die Materie bildet, ein überaus interessantes Problem, an dem gegenwärtig viele Forscher arbeiten. Ich will eine kurze Stelle von Sir J. J. Thomson zitieren, worin er die Lösung zusammenfaßt, die wir alle vor uns auftauchen sehen, die aber noch nicht erreicht ist und wohl nicht von allen auf dieselbe Weise ausgesprochen wird.

„Die ganze Masse eines Körpers ist genau die Masse des den Körper umgebenden Äthers, der durch die Faradayschen Röhren, die mit den Körperatomen verbunden sind, mitgeführt wird. Tatsächlich ist jede Masse Äthermasse, jede Kraft Ätherkraft, jede kinetische Energie kinetische Energie des Äthers. Diese Ansicht verlangt, daß der Äther ungeheuer viel dichter ist als irgend eine bekannte Substanz."

Ja, viel dichter, so dicht, daß die Materie dagegen nur eine Spinnwebe ist, oder ein dünner, unmerklicher Nebel, oder eine Milchstraße. Nicht wesenlos oder unwichtig — eine Spinnwebe ist auch nicht wesenlos und für manche Geschöpfe nicht unwichtig, aber man kann nicht sagen, daß sie massiv oder dicht sei; und alle Materie, selbst das Platin, ist nicht dicht im Vergleich zum Äther. Aber erst im vergangenen Jahre[1]) bin ich darauf gekommen, wie groß die Dichte des Äthers im Vergleich zu seiner Modifikation ist, die auf unsere Sinne als Materie wirkt und die deshalb unsere Aufmerksamkeit ganz für sich in Anspruch nimmt.

Gibt es noch eine andere Eigenschaft des Äthers, die, wenn auch jetzt noch nicht entdeckt, doch in Zukunft entdeckt werden könnte? Ich glaube, ja, aber es ist verfrüht, darauf näher einzugehen; so will ich mich begnügen, zu sagen, daß der Autor von „The unseen Universe" es als wahrscheinlich bezeichnet und Clerk Maxwell versuchsweise folgende Andeutung darüber macht:

„Ob dieser weit ausgedehnte homogene Stoff nur dazu dient, physikalische Wirkungen zwischen entfernten Körpern zu übertragen und vielleicht physikalische Leistungen auszuführen, von denen wir bis jetzt keine Ahnung haben, oder ob er auch ... den materiellen Organismus von Wesen bildet, die mit ebenso hohen oder höheren Lebens- und Geistesfunktionen begabt sind, wie wir

[1]) Siehe Philosophical Magazine April 1907 und Anhang 3, unten.

sie jetzt besitzen — das ist eine Frage, die weit über die Grenze physikalischer Spekulation hinausgeht.“

Damit verlasse ich diese Seite unseres Gegenstandes.

Äther und Materie.

Ich will nun versuchen, einige Beziehungen zwischen Äther und Materie klarzulegen.

Es ist oft gefragt worden, ob der Äther materiell sei. Das ist lediglich eine Frage bequemer Ausdrucksweise. Zweifellos gehört der Äther zum materiellen oder physikalischen Universum, aber er ist kein gewöhnlicher Stoff. Ich möchte sogar lieber sagen, daß er überhaupt kein Stoff ist. Wenn er auch die Substanz oder das Substrat oder das Material ist, aus dem die Materie gebildet ist, so wäre es doch nur verwirrend und unbequem, wenn man zwischen Äther und Materie keinen Unterschied machen wollte. Wenn man einen Knoten in eine Schnur knüpft, so besteht der Knoten aus der Schnur, aber die Schnur nicht aus Knoten. Wenn in der Luft ein Wirbel auftritt, so besteht dieser Wirbel aus Luft, aber die Atmosphäre ist deshalb kein Wirbel; und es wäre nur verwirrend, wenn man sie so nennen wollte.

Der wesentliche Unterschied zwischen Stoff und Äther ist der, daß der Stoff sich bewegt, in dem Sinne, daß er seinen Ort verändern und stoßen und zusammenprallen kann, während der Äther gespannt ist und Zug und Rückstoß ausüben kann. Im Äther existiert alle potentielle Energie. Er kann vibrieren und er kann rotieren, aber in betreff Fortbewegung ist er in Ruhe — so vollkommen, wie kein anderer uns bekannter Körper, sozusagen in absoluter Ruhe; sein Zustand ist unser Maßstab für Ruhe.

Wir selbst können in der Stoffwelt nichts weiter tun, als die Bewegung und die Gestalt der Stoffmassen verändern, wir können den Stoff durch unsere Muskelkraft bewegen, das ist das einzige, was wir direkt zu leisten imstande sind, alles andere ist indirekt.

Aber nun kommt die Frage, wie es möglich ist, daß der Stoff aus Äther besteht. Wie kann ein fester Körper aus einem flüssigen bestehen? Ein fester Körper hat Steifheit, Undurchdringlichkeit, Elastizität u. dgl. Eigenschaften mehr; wie können diese von einer vollkommenen Flüssigkeit, wie es der Äther sein muß, nachgebildet werden?

Die Antwort lautet: durch eine Flüssigkeit in Bewegung. Diese Erklärung können wir mit Zuversicht aufstellen, als Resultat eines großen Teiles von Lord Kelvins Arbeit.

Sie mag durch ein paar Beispiele erläutert werden.

Ein Speichenrad, im Ruhezustande durchlässig, wird undurchlässig, wenn es sich dreht, so daß ein dagegengeschleuderter Ball nicht durchfliegt, sondern zurückprallt. Die Bewegung wirkt nur auf die Durchlässigkeit in bezug auf Stoffe; die Durchlässigkeit für Licht wird davon nicht berührt.

Eine Seidenschnur, die über eine Rolle hängt, wird steif und zähe, wenn sie in rasche Bewegung versetzt wird, und regelmäßige Taktschläge oder Wellen, die an der Schnur erzeugt werden, laufen mit derselben Geschwindigkeit die sie selbst inne hat, darüber hin, so daß es aussieht, als ob sie stille ständen. Das ist ein reiner Fall von kinetischer Steifheit; und die Tatsache, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen dieselbe ist, wie die Rotationsgeschwindigkeit des Materials, ist typisch und wichtig, denn immer, wenn es sich um kinetische Elastizität handelt, sind diese zwei Geschwindigkeiten von derselben Größenordnung.

Das Ende einer biegsamen, in Rotation versetzten Kette kann aufrecht stehen, solange die Bewegung dauert.

Einen Wasserstrahl von genügender Geschwindigkeit kann man mit dem Hammer bearbeiten und mit dem Säbel nicht durchschlagen.

Eine rotierende Papierscheibe wird elastisch wie dünnes Metall und wirkt wie eine Kreissäge. Sir William White erzählte mir, daß bei Schiffskonstruktionen Stahlplatten durch eine schnell rotierende Scheibe von weichem Eisen zerschnitten werden.

Ein Wirbelring, der aus einer elliptischen Öffnung geschleudert wird, schwingt wie ein Gummiring um die stabile runde Form, ein schönes Beispiel für kinetische Elastizität, das uns deutlich Eigenschaften eines festen Körpers an einer Flüssigkeit zeigt.

Ein weiteres Beispiel ist Lord Kelvins Modell einer Federwage, die nur aus rotierenden steifen Körpern besteht[1]). Bei dieser Anordnung wird die Präzessionsbewegung von Kreiseln im

---

[1]) Vortrag, gehalten in der Sektion A der British Association in Montreal 1884.

Gleichgewichte benutzt, die verdeckt ein Buch tragen, um das Verhalten einer Spiralfeder nachzuahmen, die dasselbe Buch trägt.

Wenn wir daher den Äther zum Rotieren bringen könnten, dann wäre es vielleicht möglich, die Eigenschaften der Materie nachzuahmen oder vielleicht sogar Materie zu bilden. Aber wie sollen wir den Äther in Drehung versetzen? Die Materie allein scheint ihn nicht bewegen zu können. Wie schon beschrieben, habe ich Stahlscheiben 4000 mal in der Minute rotieren lassen, habe Lichtstrahlen zwischen ihnen oftmals die Runde machen lassen und dann sorgfältig nach der kleinsten Wirkung auf den Äther gesucht. Aber es machte sich auch nicht die geringste bemerkbar. Mechanisch können wir den Äther nicht zum Drehen bringen.

Aber elektrisch können wir ihn in Schwingungen versetzen; jede Strahlungsquelle tut das. Eine elektrische Ladung, die schnell genug schwingt, ist die einzige Quelle für Ätherwellen, die wir kennen. Wenn eine elektrische Ladung plötzlich aufgehalten wird, so erzeugt sie die Impulse, die wir X-Strahlen nennen, als Resultat des Zusammenstoßes. Nicht Geschwindigkeit ist die notwendige Bedingung für Wellenerzeugung im Äther, sondern Geschwindigkeitsänderung.

Wir können auch eine Art Rotationsbewegung im Äther erzeugen, doch sind wir nicht imstande, sie so direkt zu erkennen, wie manche Schwingungsarten durch das Auge. Man nimmt immer dann eine Rotation an, wenn eine Ladung in die Nähe eines Magnetpols gebracht wird. Der Äther rotiert kreiselförmig um ihre Verbindungslinie. Ich sage nicht, daß er schnell rotiert, das hängt von seiner Dichte ab; er rotiert tatsächlich außerordentlich langsam, aber er rotiert mit einem bestimmten Kraftmoment. Nach J. J. Thomsons Theorie ist sein Kraftmoment genau gleich em, dem Produkte von Elektrizitätsmenge und Pol, wobei die Elektrizitätsmenge elektrostatisch, der Pol magnetisch gemessen wird.

Wie kann das durch den Versuch gezeigt werden? Gesetzt den Fall, ein rotierender Kreisel sei in einer Büchse eingeschlossen, so daß man seine Bewegung mit gewöhnlichen Mitteln nicht wahrnehmen kann, so könnte sie sich trotzdem durch sein Verhalten gegenüber einer Kraft bemerklich machen. Wenn ihm Präzessionsmöglichkeit gegeben wird, so wird er sich senkrecht zu einer ablenkenden Kraft bewegen. Dasselbe ist der Fall bei Elektrizitäts-

menge und Magnetpol. Versucht man es, die Elektrizitätsmenge plötzlich zu bewegen, so weicht sie sofort senkrecht dazu aus. Eine bewegte Elektrizitätsmenge ist ein Strom, und Magnetpol und Strom haben das Bestreben, sich umeinander zu drehen; diese Tatsache kann als Kreiselwirkung der sonst unerkennbaren Rotation des Äthers angesehen werden. Faraday war es, der die magnetische Rotation entdeckt hat.

Ich weiß, daß diese Erscheinung für gewöhnlich in anderer Weise ausgedrückt wird mit Kraftlinien und Stromkreis; aber ich fasse den Strom als eine Reihe von vorwärts getriebenen Elektrizitätsmengen auf; keine von all den möglichen Anschauungsweisen wird wahrscheinlich die Wahrheit erschöpfen und keine schließt die andere aus, die ebenso gültig ist. Aber wie immer man die Erscheinung betrachten mag, auf jeden Fall ist sie ein Beispiel für die drei aufeinander senkrechten Vektoren.

Diese drei aufeinander senkrechten Vektoren, die man Strom, Magnetismus und Bewegung nennen kann, oder allgemeiner E, H und V, stellen die fundamentalen Beziehungen zwischen Äther und Materie dar und bilden das Verbindungsglied zwischen Elektrizität, Magnetismus und Mechanik. Wo immer zwei davon vorhanden sind, da ist die dritte eine notwendige Folge. Dies Prinzip ist die Grundlage der Dynamomaschinen, der Elektromotoren, des Lichtes, der Telegraphie und der meisten sonstigen Dinge. Ja, es fragt sich, ob nicht alles, was wir von Physik kennen, diesem Gesetze unterworfen ist, und ob es nicht die Grundlage für unsere Vorstellung des dreidimensionalen Raumes ist.

Schließlich haben wir noch eine Fundamentaleigenschaft der Materie, Trägheit genannt, die bis zu einem gewissen Grade elektromagnetisch erklärt werden kann, vorausgesetzt, daß die Dichte des Äthers von der Größenordnung 10^{12} g pro ccm gesetzt wird. Die Elastizität müßte dann 10^{33} CGS sein; und wenn sie auf inneren Wirbeln beruht, dann muß die Wirbelgeschwindigkeit der Lichtgeschwindigkeit gleichkommen. Das folgt aus hydrodynamischen Gesetzen, wonach auch die Geschwindigkeit, mit der ein Impuls sich auf einer biegsamen, bewegten Schnur ohne Ende, deren Spannung nur durch die Zentrifugalkraft der Bewegung bewirkt wird, fortpflanzt, dieselbe ist, wie die Geschwindigkeit der Schnur selbst. Nach unserer jetzigen Vorstellung ist daher die innere Zustandsenergie des Äthers unglaublich und erschrecklich

groß; denn jeder Kubikmillimeter besitzt eine Masse, die, wenn sie Materie wäre, 1000 t wiegen würde und eine Energie, die der elektrischen Arbeit entspricht, welche eine Station von 1 Mill. Pferdekräften in 40 Mill. Jahren leistet.

Merkwürdig ist das Weltall, in dem wir leben, und wir fangen eben erst an, es zu erforschen. Wir wissen, daß die Materie eine geistige Bedeutung hat, da sie das Gehirn bilden kann, das die physische und geistige Welt verbindet. Wenn jemand der Meinung ist, daß der Äther mit all seiner Massigkeit und Energie keine geistige Bedeutung haben soll, so kann ich meinesteils nicht damit übereinstimmen.

Neuntes Kapitel.

Kraft im Äther.

Um zu zeigen, daß der Äther nicht die leichte, dünne Substanz ist, für die er früher und bis vor kurzem noch gehalten worden ist, wird es gut sein, daran zu erinnern, daß er ja nicht nur der Träger des Lichtes und das Medium für alle elektrischen und magnetischen Einflüsse ist, sondern, daß er auch die riesigen Kräfte der Gravitation zu übermitteln hat.

Zwischen kleinen Körpern ist die Gravitationskraft gering, meist viel geringer als magnetische, elektrische oder chemische Kräfte. Ja die Gravitationskraft zwischen kleinen Körpern kann sogar durch den Druck ihrer gegenseitigen Strahlung mehr als ausgeglichen werden, trotzdem dieser doch fast unendlich klein ist; es ist eine Tatsache, daß Körper von irgend einer Temperatur, wenn sie klein genug sind, sich gegenseitig abstoßen, falls sie sich nicht in einem Raume konstanter Temperatur befinden, d. h. also, falls der Strahlungsdruck nicht allseitig gleich ist.

Um wieviel der Strahlungsdruck die Gravitationskraft bei gleichen Flächen überwiegt, das hängt von der Temperatur der Flächen und von der Dichte ab; bei gewöhnlicher Temperatur, sagen wir ungefähr 60° F, wird nach Professor Poyntings[1]) Angaben zwischen zwei Holzkugeln von ungefähr 1 Fuß Durchmesser Gleichgewicht der Kräfte eintreten. Bei kleineren oder heißeren

[1]) Philosophical Transactions 202, 541.

Körpern überwiegt die Strahlung die Gravitation; sie wächst mit der vierten Potenz der Temperatur. Die Anziehungskraft der Gravitation zwischen einzelnen Partikeln ist außerordentlich klein und zwischen Atomen oder Elektronen ist sie überhaupt zu vernachlässigen, obwohl diese in molekularem Abstande voneinander sind.

So ist z. B. die Größenordnung der Anziehungskraft für zwei Goldatome in molekularem Abstande

$$\gamma \frac{10^{-22} \times 10^{-22}}{(10^{-8})^2} = \frac{10^{-44}}{10^{-16}} \times 10^{-7} = 10^{-35}\,\text{Dyn};$$

das würde keine merkbare Beschleunigung hervorrufen.

Die Gravitationskraft zwischen zwei Elektronen in derselben Entfernung ist der vierzigtausendmillionste Teil davon, und daher, so sollte man meinen, vollständig zu vernachlässigen. Und doch setzt sich die Anziehungskraft, die über Millionen von Meilen fühlbar ist, aus der Anziehungskraft von Myriaden solch kleiner Teilchen zusammen. Sie ist nicht nur fühlbar diese Kraft, sondern man muß damit rechnen als mit einer enormen Größe.

Wenn Körper von astronomischer Größe im Spiele sind, dann überwiegt die Gravitation alle übrigen Kräfte; und alle elektrische und magnetische Anziehung ist im Vergleich dazu ganz ohne Bedeutung.

Diese gewaltige Kraft muß durch den Äther übermittelt werden; es ist daher lehrreich, ihre Größe zu betrachten.

Einige Himmelskräfte, die der Äther übermitteln muß. Berechnung der Anziehung der Erde auf den Mond.

Die Erdmasse beträgt 6000 Trill. (6×10^{21}) Tonnen. Die Masse des Mondes beträgt $^1/_{80}$ Erdmasse. Die Erdschwere wird in der Mondentfernung (60 Erdradien) im Verhältnis $1 : 60^2$ kleiner, sie ist also dort $^1/_{3600}$ von der Schwere hier.

Infolgedessen beträgt die Anziehung der Erde auf den Mond

$$\frac{6 \times 10^{21}}{80 \times 3600}\,\text{t}.$$

Ein Eisenpfeiler, der diese Kraft zu übertragen hätte, müßte einen Durchmesser von ungefähr 400 Meilen haben, falls er eine

Spannung von 40 t pro Quadratzoll aushält, wie schon S. 70 angegeben wurde.

Wenn diese Kraft durch einen Wald von gewichtlosen Pfeilern übertragen werden soll, jeder 1 Quadratfuß im Querschnitt mit einer gleichmäßigen Spannung von 30 t pro Quadratzoll, so müßten es 5 Billionen solcher Pfeiler sein.

Berechnung der Anziehungskraft der Sonne auf die Erde.

Die Erdmasse beträgt 6×10^{21} t. Die Sonnenschwere ist an der Sonnenoberfläche 25 mal so groß wie die gewöhnliche Erdschwere.

In der Erdentfernung, die fast 200 Sonnenhalbmesser beträgt, ist die Sonnenschwere im Verhältnis $1 : 200^2$ geringer.

Daher ist die Anziehungskraft der Sonne auf die Erde:

$$\frac{25 \times 6 \times 10^{21}}{(200)^2} \text{ t.}$$

Das ist ungefähr so viel wie das Gewicht von 37×10^{17} gewöhnlicher Tonnen auf der Erde.

Es gibt Stahlsorten mit einer Widerstandskraft von 37 t Gewicht pro Quadratzoll des Querschnittes. Der Querschnitt eines Trägers aus solchem Stahl müßte, um der Anziehungskraft der Sonne auf die Erde standhalten zu können,

10^{17} Quadratzoll sein oder 700×10^{12} Quadratfuß.

Und das entspricht 1 Billion runder Pfeiler, jeder von 30 Fuß Durchmesser.

Die Bemerkung auf S. 20 ist daher voll berechtigt.

Die Anziehungskraft der Erde auf die Sonne.

Die Anziehungskraft der Erde auf die Sonne ist selbstverständlich gleich und entgegengesetzt der soeben berechneten Anziehungskraft der Sonne auf die Erde; aber wir können hierbei auf anderem Wege zum gleichen Resultate kommen und mit anscheinend einfacheren Zahlen, d. h. Zahlen, die allgemeiner bekannt sind. Alles, was wir brauchen, ist folgendes:

Die Sonnenmasse ist 316000 mal größer als die Erdmasse.

Die mittlere Entfernung von der Sonne beträgt ungefähr 23000 Erdhalbmesser.

Daher ist das Gewicht der Sonne oder die Anziehungskraft der Erde

$$\frac{316000}{(23000)^2} \times 6 \times 10^{21}\,\mathrm{t}.$$

Oder mit anderen Worten: sie ist ungefähr gleich dem gewöhnlichen kaufmännischen Gewicht von 36×10^{17} t, wie bereits ausgerechnet wurde.

Die Zentripetalkraft der Erde.

Es gibt noch eine andere Art, die Anziehungskraft der Sonne zu berechnen, indem man sie nämlich durch die Zentrifugalkraft der Erde ausdrückt, das ist ihre Masse multipliziert mit dem Quadrat ihrer Winkelgeschwindigkeit und dem Halbmesser ihrer Bahn:

$$F = M\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r,$$

worin T die Zeitdauer von einem Jahre ist.

Die Auswertung ist lehrreich wegen der Einheiten, die darin vorkommen:

$$F = 6 \times 10^{21}\,\mathrm{t} \times \frac{4\pi^2 \times 92 \times 10^6 \text{ Meilen}}{(365^1/_4 \text{ Tage})^2};$$

selbstverständlich stellt dies eine Masse multipliziert mit einer Beschleunigung dar. Die Beschleunigung ist

$$\frac{40 \times 92 \times 10^6}{133300 \times 24^2} \text{ Meilen pro Stunde pro Stunde}$$

$$= \frac{3680 \times 10^6 \times 5280}{133300 \times 576 \times 3600^2} \text{ Fuß pro Sekunde pro Sekunde}$$

$$= \frac{115 \times 5280}{133300 \times 576 \times 12{,}96} \times 32 \text{ Fuß pro Sekunde pro Sekunde}$$

$$= \frac{g}{1640}.$$

Die Anzugskraft ist also so groß, daß sie der Erdmasse eine Beschleunigung erteilen würde, die $^1/_{1640}$ von der gewöhnlichen,

durch die Erde hervorgerufenen Beschleunigung an fallenden Körpern ist, oder

$$F = 6 \times 10^{21}\,\mathrm{t} \times \frac{g}{1640} = \frac{6}{1640} \times 10^{21}\,\mathrm{t},$$

was so wie früher einer gewöhnlichen Last von 37×10^{17} t gleichkommt.

Der kleine Unterschied zwischen den obigen Resultaten ist natürlich darauf zurückzuführen, daß nur angenäherte runde Werte für die Rechnung verwendet wurden, was ja für unsere Zwecke vollkommen genügt.

Wenn diese Kraft durch einen Wald von Pfeilern auf die Erde übertragen werden sollte, so daß ein Pfeiler auf jeden Quadratfuß der Erdoberfläche käme, d. h. auf die Projektion der Erdhalbkugel oder die Äquatorfläche, so müßte jeder Pfeiler 2700 t tragen; falls sie daher aus 30 t-Stahl wären, müßten sie einen Durchmesser von 11 Zoll haben, also sich fast gegenseitig berühren.

Anzugskraft eines Planeten auf die Erde.

Da wir gerade bei dem Gegenstande sind, ist es nicht uninteressant, zu erinnern, daß der Zug, den die Planeten, selbst Neptun trotz seiner großen Entfernung, auf die Erde ausüben, von enormer Größe ist. Die Anzugskraft des Neptun beträgt $^{1}/_{20000}$ der Anzugskraft der Sonne, das ist 18 Billionen Tonnen.

Anzugskraft eines Sternes auf die Erde.

Andererseits ist die Anzugskraft eines Fixsternes, wie z. B. der Sirius es ist — ein Stern, dessen Masse 20 mal so groß ist als die der Sonne und der 24 Lichtjahre entfernt ist —, verhältnismäßig sehr klein.

Sie ist leicht zu berechnen, indem man die 20 fache Anzugskraft der Sonne durch das Quadrat des Verhältnisses von 24 Jahren zu 8 Minuten dividiert; man findet dafür 30000000 Tonnen.

Eine solche Kraft kann keine merkbare Wirkung haben. Die Beschleunigung, die sie der Erde und dem ganzen Sonnensystem bei der jetzigen Geschwindigkeit erteilt, kann die Bahn nur mit einem Krümmungsradius krümmen, der 30000 mal die Entfernung des Sternes beträgt.

Die Kraft, mit welcher Doppelsterne zusammengehalten werden.

Man darf nicht meinen, daß die Übertragung solcher Kräfte für den Äther irgend welche Anstrengung bedeutet, oder ihn bis zur Grenze der Möglichkeit anspannt. Diese Kräfte müssen mit der größten Leichtigkeit übermittelt werden, denn es gibt eine Menge Fälle, wo die Gravitationskraft noch viel größer ist. Bei Doppelsternen z. B. kreisen zwei Sonnen umeinander, und manche davon mit großer Schnelligkeit. In solchen Fällen muß die zusammenhaltende Kraft enorm sein.

Das schlagendste Beispiel dafür ist wohl der Stern β Aurigae, für den wir wirklich genaue Daten besitzen; bei der allgemeinen spektroskopischen Untersuchung der Himmelskörper, die Professor Pickering in Harvard unternommen hatte, wurde entdeckt, daß dieser Stern an manchen Tagen einfache Linien im Spektrum zeigte, an anderen Tagen Doppellinien. Offenbar mußte er aus zwei leuchtenden Körpern bestehen, die sich in einer zur Visierlinie ungefähr parallelen Ebene drehen, wobei ein Umlauf vier Tage dauert. Denn während eines Teiles des Kreislaufes wurden durch die Bewegung die Linien verschoben, und zwar die des näherkommenden Sternes nach rechts, die des zurückgehenden nach links, während in dem Teile der Bahn, der quer zur Sehrichtung verläuft, die Spektrallinien an ihren alten Platz zurückkehrten, um im nächsten Quadranten bei der entgegengesetzten Richtung wieder das Maximum des gegenseitigen Abstandes zu erreichen.

Die Größe der Verschiebung konnte geschätzt und damit die Geschwindigkeit berechnet werden, mit der sich die Lichtquellen bewegen.

Professor Pickering gibt in einem kurzen Berichte in „Nature" **41**, 403, 1889 an, daß die Geschwindigkeit ungefähr 150 Meilen pro Sekunde beträgt und angenähert für beide Körper dieselbe ist.

Mit diesen drei Angaben: gleiche und gleichförmige Geschwindigkeit, 150 Meilen pro Sekunde, viertägige Periode, haben wir alles, was wir brauchen, um die Massen und damit ihre Anziehungskraft zu berechnen. Denn der Stern muß aus zwei gleichen Körpern bestehen, die in nahezu kreisförmigen

6*

Bahnen um ein gemeinsames Gravitationszentrum kreisen, das in der Mitte zwischen ihnen liegt.

Geschwindigkeit und Umlaufszeit ergeben den Radius der kreisförmigen Bahn zu ungefähr 8 Millionen Meilen.

Setzen wir die Zentripetalkraft gleich der Zentrifugalkraft, so ist

$$\frac{m v^2}{r} = \gamma \frac{m^2}{(2r)^2};$$

vergleichen wir den resultierenden Wert $\frac{4r^3}{T^2}$ mit dem Wert $\frac{r^3}{T^2}$ für die Erde, so finden wir, daß die Masse jedes Körpers ungefähr 30000 mal so groß sein muß wie die Erdmasse oder ungefähr 10 mal so klein wie die Sonnenmasse.

Das gilt dann, wenn man sie als Kugeln behandelt; in Wirklichkeit müssen sie zu ausgesprochen flachen Formen verzerrt sein. Es mag ja merkwürdig scheinen, daß die entfernten Teile mit den näheren beim Herumkreisen Schritt halten können. Wenn sie die Dichte der Sonne besitzen, wäre ihr Durchmesser ungefähr $^1/_2$ Mill. Meilen und die natürlichen Perioden ihrer nahen und entfernten Teile würden angenähert im Verhältnis $\left(\frac{17}{16}\right)^{3/2} = 1{,}1$ voneinander abweichen. Durch Festigkeit könnten die Teile nicht zusammengehalten werden, wohl aber durch Gravitation.

Doch das ist eine Abschweifung. Wir wollen damit fortfahren, die Anzugskraft zu berechnen.

Wir haben Massen von $3 \times 10^4 \times 6 \times 10^{21}$ t, die sich mit einer Winkelgeschwindigkeit von 2π in vier Tagen auf einem Kreise von 8×10^6 Meilen Radius bewegen.

Infolgedessen ist die Zentripetalbeschleunigung

$$\frac{4\pi^2 \times 8 \times 10^6}{16} \text{ Meilen pro Tag pro Tag,}$$

was dasselbe ist wie $\frac{32}{2{,}2}$ Fuß pro Sekunde pro Sekunde, oder angenähert die Hälfte der gewöhnlichen Schwerkraft der Erde.

Folglich ist die Zugkraft zwischen den zwei Teilen des Doppelsternes β Aurigae gleich

$$\frac{g}{2{,}2} \times 18 \times 10^{25}\,\text{t}$$

oder

$$80 \times 10^{24}\,t \text{ Gewicht auf der Erde,}$$

und das ist mehr als 20 Millionen mal so groß wie die Zugkraft zwischen Erde und Sonne.

Solche einfache Rechnungen hätten jederzeit gemacht werden können; es ist nichts Neues daran, wie etwa an der in den Kapiteln VI und VII gebrachten Berechnung der Dichte und inneren Energie des Äthers. Aber es ist auch nichts Hypothetisches oder Unsicheres daran, sie sind ganz sicher und bestimmt, wogegen man die neueren Berechnungen für etwas zweifelhaft halten kann, weil sie die Masse und Größe der Elektronen und die Annahme enthalten, daß der Äther gleichförmig und inkompressibel ist. Selbst der Begriff der Masse hat, auf den Äther angewendet, etwas Ungewisses und Sinnbildliches. Denn solange wir von dem eigentümlichen Wesen des Äthers (wenn es überhaupt eigentümlich ist) nicht mehr wissen als bisher, so lange können wir ihm nur durch materielle Analogien beikommen, und so lange müssen wir seine Masse als das erklären, was er besitzen würde, wenn er bei den Eigenschaften, die er zeigt, doch eine Art von gewöhnlichem Stoffe wäre. Er kann kein wirklicher Stoff sein, weil aller Stoff sich ausgeprägt von ihm unterscheidet und vermutlich aus ihm besteht; aber die Trägheit des gewöhnlichen Stoffes muß, wenn sie auch elektrisch oder magnetisch erklärt wird, in letzter Instanz gleichen Ursprungs sein wie die Trägheit der raumerfüllenden Ursubstanz. Und das ist es, was wir in den Kapiteln VI und VII mit größtmöglicher Nüchternheit klarzulegen versucht haben.

Zehntes Kapitel.

Allgemeine Theorie der Aberration.

Im dritten Kapitel wurde die Aberration in einfacher geometrischer Weise behandelt, aber nun ist es Zeit, uns mehr allgemein damit zu beschäftigen. Um mich kurz fassen zu können, muß ich mich aber in diesem Kapitel hauptsächlich an die Physiker wenden.

In betreff der Aberration können die folgenden allgemeinen Sätze aufgestellt werden:

1. Ein Lichtstrahl in freiem Raume ist immer geradlinig, auch wenn das Medium in Bewegung ist, falls nur keine Wirbel vorhanden sind. Mit anderen Worten: eine wirbelfreie Ätherbewegung kann Lichtstrahlen nicht ablenken.

2. Wenn aber der Beobachter in Bewegung ist, dann ist der scheinbare Strahl nicht der wirkliche Strahl, und seine Richtung gibt nicht die Richtung des Gegenstandes an.

3. In ruhendem Äther fällt der Strahl mit der Wellennormale zusammen. In bewegtem Äther bildet der Strahl den Aberrationswinkel ε mit der Wellennormale, wobei $\varepsilon = \frac{v}{V}$ das Verhältnis der Äthergeschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit ist.

4. Die Sehlinie hängt immer von der Bewegung des Beobachters und nur von ihr ab. Wenn der Beobachter ruhend ist, dann ist seine Sehlinie ein Strahl; wenn er sich mit derselben Geschwindigkeit wie der Äther bewegt, dann ist seine Sehlinie eine Wellennormale.

5. Solange der Äther ein Geschwindigkeitspotential besitzt, hängt die Sehlinie gar nicht von seiner Geschwindigkeit ab. Wenn diese Bedingung erfüllt ist, dann ist die Theorie der Aberration ganz einfach.

Allgemeine Bemerkung zu den negativen Ergebnissen einschlägiger Versuche.

Es ist zu beachten, daß fast alle mit negativem Erfolge gemachten Versuche über den Einfluß der Erdbewegung auf den Äther ebensowohl mit vollständigem Zusammenhang als wie mit vollständiger Unabhängigkeit von Äther und Materie vereinbar sind. Bei vollständigem Zusammenhange ist der Äther in der Nähe der Erde relativ zu ihr ruhend, negative Ergebnisse auf der Erde sind dann selbstverständlich. Bei vollständiger Unabhängigkeit ist der Äther entweder in absoluter Ruhe oder er hat ein Geschwindigkeitspotential und, wie früher gezeigt wurde, werden die negativen Ergebnisse dadurch erklärt. Der direkte Versuch hat ergeben, daß die Viskosität des Äthers fast oder ganz Null ist, und beweist damit die „Unabhängigkeits"-Erklärung.

Definition des Strahles.

Ein Strahl ist die Bahn eines bestimmten Teiles von Strahlungsenergie, die Richtung des Energiestromes. Er kann auch bezeichnet werden als die Bahn einer bestimmten Störung; ein bestimmtes Merkmal, das das Auge in den Stand setzt, die Richtung anzugeben: dasselbe, das die optische Achse eines Fernrohres bestimmt.

Damit eine Störung, die von A ausgeht, B erreicht, ist es nötig, daß die angrenzenden Teile der Wellenfläche bei A mit derselben Phase nach B gelangen; die Bahn der Störung muß also diese Bedingung in jedem Punkte erfüllen. Sie wird dann erfüllt sein, wenn das Licht zum Zurücklegen aller unendlich benachbarten Bahnen dieselbe Zeit braucht wie zum Zurücklegen der wirklichen Bahn.

Die Strahlgleichung besteht daher in der Aussage, daß die Zeit, die das Licht für seine Bahn braucht, ein Minimum ist, oder

$$\int_A^B \frac{ds}{V} = \text{Minimum}.$$

Wenn das Medium nicht ruhend ist, sondern sich mit der Geschwindigkeit v in einem Winkel θ zu dem Strahl bewegt, dann müssen wir statt V die veränderte Geschwindigkeit $V \cos \varepsilon + v \cos \theta$ setzen; dann ist folgendes die Funktion, die ein Minimum werden muß, um die Strahlenbahn in einem bewegten Medium darzustellen:

$$\text{Wegzeit} = \int_A^B \frac{ds}{V(\cos \varepsilon + a \cos \theta)}$$

$$= \int_A^B \frac{V \cos \varepsilon - v \cos \theta}{V^2(1 - a^2)}\, ds = \text{Minimum},$$

wo a das Verhältnis $\frac{v}{V}$ bedeutet.

Strahlenbahn und Wegzeit in einem wirbelfrei bewegten Medium.

Führt man in der obigen Strahlgleichung ein Geschwindigkeitspotential Φ ein, indem man setzt

$$v \cos\theta = \frac{\delta \Phi}{\delta s},$$

und vernachlässigt man die möglichen Variationen in dem kleinen Korrektionsgliede $1 - a^2$ zwischen den Punkten A und B, so heißt die Gleichung:

$$\text{Wegzeit} = \int_A^B \frac{\cos\varepsilon}{1 - a^2} \frac{ds}{V} - \frac{\Phi_B - \Phi_A}{V^2 (1 - a^2)} = \text{Minimum}.$$

Das zweite Glied hängt nur von den Grenzwerten ab und hat daher keinen Einfluß auf die Bahn; das erste Glied enthält die Aberrationsgröße nur in der zweiten Potenz und hat daher fast denselben Wert, als wenn alles in Ruhe ist. Ein Strahl, der anfänglich gerade war, wird trotz Bewegung gerade bleiben. Er behält seine Form bei, wie sie auch sein mag.

Nur $\cos\varepsilon$ und Variationen von a^2 können die Bahn beeinflussen; doch müssen diese Einwirkungen sehr gering sein, da der Wert von $\cos\varepsilon$

$$\sqrt{(1 - a^2 \sin^2\theta)}$$

ist.

Durch eine wirbelfreie Bewegung kann also nur eine Wirkung zweiter Ordnung auf die Richtung ausgeübt werden, keine Wirkung erster Ordnung. Dasselbe gilt auch für die Zeit, die das Licht zum Zurücklegen einer geschlossenen Bahn braucht.

Der Michelsonsche Versuch.

Wir schließen daraus, daß ein allgemeiner Ätherstrom weder die Bahn eines Strahles, noch die Zeit, die das Licht für den Hin- und Rückgang oder für irgend einen geschlossenen Weg braucht, in irgend erheblichem Maße beeinflußt. Wenn man aber Größen zweiter Ordnung in Betracht zieht, dann ist die Zeit für einen Hin- und Rückweg in einer Richtung, die den Winkel θ mit einer konstanten Strömung bildet, nach obiger Formel:

$$T_1 + T_2 = \frac{2\,T\cos\varepsilon}{1 - a^2} = \frac{\sqrt{1 - a^2 \sin^2\theta}}{1 - a^2} \times 2\,T,$$

wo $2\,T$ die gewöhnliche Zeit des doppelten Weges ohne Strömung ist.

Danach scheint es möglich, an Interferenzerscheinungen eine durch die Strömung hervorgerufene geringe Veränderung zu beobachten, denn in untergeordneter Weise hängt die Zeit für einen Hin- und Rückweg des Lichtstrahles auch von der Neigung des Strahles zur Strömung ab.

Darauf beruht der denkwürdige Versuch von Michelson[1]), einen gespaltenen Strahl hin und zurück zur Hälfte in Richtung der Erdbewegung, zur Hälfte quer dazu zu schicken, und obige Formel stellt tatsächlich die Theorie davon dar. Es müßte eine Wirkung erfolgen gemäß dem Unterschiede von $\theta = 0$ und $\theta = 90^0$. Aber es konnte keine entdeckt werden. Es passiert also entweder etwas anderes, oder der Äther in der Nähe der Erde wird mitgerissen, so daß er nicht durch unsere Instrumente strömt.

Eine andere Erklärungsweise.

Wenn der Äther aber von bewegten Massen mitgerissen wird, dann verhält er sich wie eine zähe Flüssigkeit, und dann muß man jeden Gedanken an ein Geschwindigkeitspotential fallen lassen. Das würde die Aberrationstheorie sehr komplizieren (S. 31 und 42) und widerspricht überdies dem im fünften Kapitel beschriebenen experimentellen Beweise.

Das negative Ergebnis von Mr. Michelson kann aber auf andere Weise erklärt werden, nämlich durch die Fitz Gerald-Lorentz-Theorie, daß die lineare Ausdehnung der Körper eine Funktion ihrer Bewegung durch den Äther ist. Solch eine Wirkung ist mit Recht zu erwarten, denn wenn die Kohäsionskraft auf Elektrizität beruht, so muß sie in ganz bestimmter Weise von der Bewegung abhängig sein, und zwar von dem Quadrate des Verhältnisses der Körpergeschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit (siehe Schluß des vierten Kapitels).

Nach dieser A. Lorentzschen Theorie wird demnach die Gestalt von Michelsons Steinlager durch die Bewegung verzerrt, da seine Ausdehnung in Richtung der Ätherströmung anders

---

[1]) Philosophical Magazine Dez. 1887.

beeinflußt wird, als quer dazu. Die Veränderung ist gerade so groß, daß sie die optische Wirkung der Bewegung, die sonst beobachtet werden könnte, aufhebt und neutralisiert. Diese Theorie wird jetzt allgemein anerkannt.

Dieser neutralisierende, kompensierende Effekt, der dieselbe Wirkung auf Hin- und Rückbewegung von Licht, auf die Hin- und Rückbewegung eines elektrischen Stromes, wie auf die Gestalt stofflicher Körper ausübt, ist es, der es so schwer oder überhaupt unmöglich macht, bei Versuchen über Ätherströmung ein positives Ergebnis zu erhalten, so daß wir trotz der Geschwindigkeit, mit der wir uns durch den Raum bewegen, keinen merklichen Einfluß auf elektrische oder optische Erscheinungen wahrnehmen können, mit Ausnahme von dem, der von der relativen Bewegung zwischen Lichtquelle und Empfänger herrührt.

Einiges über die Theorie des Dopplereffektes oder die Wirkung der Bewegung auf die Dispersion durch ein Prisma oder ein Gitter.

Wenn das Licht durch ein Prisma oder ein Gitter zu einem Spektrum aufgelöst wird, so wird der Gang jedes Strahles, je nach seiner Schwingungszahl oder Wellenlänge abgelenkt — gebrochen oder gebeugt.

Eine Bewegung des Mediums beeinflußt, solange sie stetig ist, weder Schwingungszahl noch Wellenlänge und ist daher auch ohne Einfluß auf das Resultat. Sie kann nur dann einen Dopplereffekt hervorrufen, wenn sie entweder ab- oder zunimmt.

Eine Bewegung der Quelle drängt die Wellen vorn zusammen und zieht sie hinten auseinander. Ein Beobachter, auf den die Quelle zukommt, wird daher kürzere Wellen als normal empfangen; einer, von dem sich die Quelle entfernt, wird längere empfangen. Die Wellen erreichen also einen festen Punkt mit veränderter Frequenz.

Wenn die Quelle ruht, so sind die ausgesandten Wellenlängen ganz normal, aber eine Bewegung des Beobachters kann offenbar die Frequenz, mit der sie *empfangen* werden, ändern; sie werden schneller aufgeschaufelt, wenn der Empfänger sich nähert, sie müssen dem Empfänger nachlaufen, wenn er sich entfernt.

Das sind alles bekannte Dinge, die im dritten Kapitel geometrisch veranschaulicht worden sind; aber ein paar kleine, merkwürdige Einzelheiten verdienen wohl eine kurze Betrachtung.

Gittertheorie.

Es werde zur Lichtanalyse ein Gitter verwendet. Seine Wirkung kann nicht kinetisch sein, sie muß auf dem rein geometrischen Abstand der Linien beruhen. Folglich kann es direkt nur Wellenlängen, nicht Frequenzen angeben.

In dem Falle der bewegten Lichtquelle, wo die Wellenlänge wirklich geändert wird, zeigt das Gitter einen richtigen Dopplereffekt an. Aber in dem Falle des bewegten Beobachters, wo alle empfangenen Wellen von normaler Länge sind und nur mit unnormaler Geschwindigkeit aufgefangen werden, da kann das Gitter auch nur die Wellenlänge angeben und keinen richtigen Dopplereffekt zeigen.

Insofern aber das Fernrohr oder die Sehlinie um den Dispersionswinkel zu dem einfallenden Strahle geneigt ist, kommt die gewöhnliche Aberration dazu, wie immer, wenn der Beobachter sich quer zu seiner Sehlinie bewegt. Daher wird ein falscher oder scheinbarer Dopplereffekt auftreten, der auf der gewöhnlichen Aberration beruht. Das heißt, eine Spektrallinie wird nicht an ihrem wahren Platz gesehen werden, sondern fast genau so verschoben, wie bei einem richtigen Dopplereffekt; die Übereinstimmung geht bis zu einer Größe zweiter Ordnung in dem Ausdruck für die Aberration. Die geringe Abweichung habe ich in meiner Arbeit in den Philosophical Transactions 1893, p. 787 berechnet.

Die Sache ist nicht von Wichtigkeit; da es aber recht mühsam ist, bei einem Gitter, das sich auf die Lichtquelle zu bewegt, die beobachtete Beugung zu berechnen, so mag das Ergebnis hier verzeichnet werden.

Im folgenden sind die beobachteten Strahlen durch ihre Neigung zur Gitternormalen gekennzeichnet: θ_0 der gebeugte Strahl, wenn alles in Ruhe wäre; Φ der wirkliche gebeugte Strahl bei Vorwärtsbewegung des Gitters; θ der gemäß Aberration beobachtete Strahl; θ_1 der entsprechende gebeugte Strahl, wenn alles in Ruhe und die Wellenlänge wirklich verkürzt wäre.

Als Hilfsgröße führen wir ferner den Aberrationswinkel ε ein und setzen $\sin \varepsilon = a \sin \theta$, wo $a = \frac{v}{V}$.

Zwischen diesen vier Winkeln bestehen die folgenden Beziehungen, so daß alle gegeben sind, wenn einer bekannt ist:

$$\theta = \Phi - \varepsilon,$$
$$\sin \theta_1 = (1 - a) \sin \theta_0,$$
$$\sin \Phi = (1 - a \operatorname{vers} \Phi) \sin \theta_0.$$

Hiernach sind θ und θ_1 sehr nahe, aber nicht absolut gleich. θ_1 ist der Strahl, wie er von einem Instrument beobachtet wird, das in erster Linie auf Frequenz beruht, wie das Prisma; θ ist der Strahl, wie er von einem Instrument beobachtet wird, das in erster Linie auf der Wellenlänge beruht, wie das Gitter.

Prismatheorie.

Nun werde ein Prisma zur Lichtanalyse verwendet. In den meisten Theorien wird angenommen, daß seine zerstreuende Kraft direkt auf Frequenz beruht — das ist auf einer zeitlichen Beziehung zwischen der Periode der Lichtschwingung und der Periode einer Atom- oder Elektronendrehung oder sonstigen harmonischen Bewegung.

Wir wollen daher sagen, daß die prismatische Dispersion direkt die Frequenz angibt. Auf Wellenlängen kann sie nicht beruhen, denn die Wellenlänge in verschiedenen Substanzen ist verschieden; der Brechungsindex stimmt damit überein, nicht aber das Zerstreuungsvermögen.

Bei einem Prisma kann daher kein Unterschied gemacht werden zwischen Bewegung der Quelle und Bewegung des Empfängers, denn in beiden Fällen wird die Frequenz der Wellen beim Empfange geändert — entweder, weil sie wirklich kürzer sind, aber mit normaler Geschwindigkeit ankommen, oder, weil sie schneller aufgesammelt werden, aber von normaler Länge sind.

Achromatische Prismen.

Es ist zu beachten, daß bei einem Prisma der Dopplereffekt nur auf Zerstreuung beruht, d. h. darauf, daß Wellen von verschiedener Länge verschieden beeinflußt werden. Es gibt aber

Prismen, bei denen die Zerstreuung korrigiert und aufgehoben ist. Solche achromatische Prismen lenken, falls sie wirklich vollkommen achromatisch sind, die Wellen aller Längen gleichmäßig ab, und dementsprechend wird die Wellenverkürzung durch eine bewegte Quelle gar keinen Einfluß ausüben. Achromatische Prismen verhalten sich daher gegenüber irdischen und himmlischen, d. h. gegenüber relativ ruhenden und relativ bewegten Lichtquellen ganz gleich.

Daran soll erinnert werden, mit Bezug auf die Versuche einiger Forscher, die mit Recht ergebnislos waren; so z. B. beobachtete Arago einen Stern, dem sich die Erde näherte, mit einem achromatischen Prisma, ohne einen Effekt entdecken zu können. Ein Dopplereffekt muß mit einem Dispersionsprisma untersucht werden, nicht mit einem achromatischen, denn der Brechungsindex einer Substanz wird durch die Erdbewegung nicht beeinflußt.

Es liegt gar kein Grund vor, warum der Brechungsindex beeinflußt werden sollte, da er auf einfache geometrische Art von einer gehemmten Geschwindigkeit abhängt, d. h. von einem optischen Äthergewicht oder von einer scheinbaren besonderen inneren Dichte.

Ein achromatisches Gitter aber ist, kurz gesagt, eine Unmöglichkeit.

Einfluß durchsichtiger Stoffe.

Wenn aber ein Strahl durch einen durchsichtigen Körper wandert, wird dann nicht die Bewegung dieses Körpers seinen Gang beeinflussen?

Gewiß, wenn der Körper sich relativ zu Quelle und Empfänger bewegt wie bei Fizeaus Versuch, und zwar im vollen Betrage der Ladung oder Extradichte oder wandernden Dichte $\mu^2 - 1$ im Verhältnis zur Gesamtdichte μ^2.

Dieser Bruchteil der Geschwindigkeit des stofflichen Mediums muß die Lichtgeschwindigkeit direkt beeinflussen, denn die Wellen werden in Richtung der Körpergeschwindigkeit mit der zusätzlichen Geschwindigkeit $\frac{\mu(\mu^2 - 1)}{\mu^2}$ fortgeführt (s. auch Anhang 3).

Wenn aber der durchsichtige Körper, durch den das Licht wandert, gegen Quelle und Empfänger in Ruhe ist und nur die

allgemeine Planetenbewegung mitmacht, so daß er also der entgegengesetzten, alles durchdringenden Ätherströmung ausgesetzt ist — dann kann kein Einfluß dieser Strömung wahrgenommen werden; denn der freie Äther beträgt sich genau so, als ob kein Körper da wäre. Das mag ausführlicher durch die folgende Rechnung dargestellt werden.

Optischer Effekt der Ätherströmung in dichten, ruhenden Körpern.

Die Berechnung der Phasenverzögerung, die durch Fresnels Ätherbewegung veranlaßt wird, kann wie folgt ausgeführt werden: Eine dichte Platte von der Dicke z, durch die das Licht für gewöhnlich mit der Geschwindigkeit $\frac{V}{\mu}$ durchgeht, wird nun mit der Geschwindigkeit $\frac{V}{\mu} \cos \varepsilon + \frac{v}{\mu^2} \cos \theta$ durchsetzt, wobei v die relative Geschwindigkeit des Äthers in ihrer Nähe ist; hieraus ergibt sich die Zeit, welche das Licht zum Durchgehen braucht, zu

$$\frac{\mu z}{V\left(\cos \varepsilon + \frac{a}{\mu} \cos \theta\right)},$$

anstatt zu

$$\frac{\mu z}{V}.$$

Die entsprechende Luftdicke ist demnach statt $(\mu - 1) z$

$$\frac{\mu z}{\cos \varepsilon + \frac{a}{\mu} \cos \theta} - z = \left(\frac{\mu \cos \varepsilon - a \cos \theta}{\left[1 - \frac{a}{\mu}\right]^2} - 1\right) z$$

oder mit Größen erster Ordnung

$$(\mu - 1) z - a z \cos \theta,$$

wo θ der Winkel zwischen Strahl und Ätherströmung innerhalb des Mediums ist.

Die der Bewegung entsprechende Extraluftschicht ist angenähert $\pm a z \cos \theta$, also unabhängig von μ.

Daher kann man bei der Entdeckung dieses Effektes erster Ordnung mit der Verwendung von dichten, ruhenden Körpern

nichts ausrichten; ihr Extraäther beeinflußt die durch die Bewegung hervorgerufene Verzögerung nur um eine Größe zweiter Ordnung, weil er in Ruhe ist, wie dies oben gezeigt wurde.

Direkte Versuche von Hoek[1]) und von Mascart über den Einfluß von Wasserröhren, die in den Gang von halbierten Strahlen eingesetzt werden, bestätigen diese negative Folgerung vollkommen.

Wir kommen also zu dem Schluß, daß eine allgemeine Bewegung des gesamten Mediums sich weder durch eine Änderung der Richtung, noch der Frequenz, noch der Phase bemerkbar macht, denn auf keine dieser Größen hat sie einen Einfluß erster Ordnung, selbst wenn sie durch dichte Körper unterstützt wird.

Man kann dies Ergebnis noch in anderer Weise ausdrücken, indem man nämlich sagt, daß der Äther sich innerhalb der Materie so verhält, daß im ganzen durchsichtigen Raume, soweit es die Ätherbewegung allein betrifft, eine Potentialfunktion von der folgenden Form existiert:

$$\int \mu^2 v \cos\theta \, ds$$

(siehe Anhang 3).

Aus der Existenz dieser Potentialfunktion geht ohne weiteres klar hervor, warum die allgemeine Mediumströmung keinen Einfluß auf die Richtung hat, gleichviel ob mit dichten Körpern (mit Wasser gefüllten Fernrohren) oder ohne. Welches auch der Weg eines Strahles durch Reflexion und Brechung in ruhendem Äther sein mag, er ist bei bewegtem Äther genau derselbe, wenn die obige Bedingung erfüllt ist, obwohl Wellennormale und Wellenfläche abgetrieben sind.

Obschon die Materie den ihr innewohnenden Äther beeinflußt oder belastet, so kann nach dieser Theorie doch nicht gesagt werden, daß sie ihn festhält oder mitführt. Die allgemeine Ätherströmung muß nicht nur in der Nähe der Körper, sondern auch innerhalb derselben unbeeinflußt bleiben, wenn ein Strahl genau denselben Verlauf nehmen soll, als ob der Äther in Ruhe wäre.

Aber es darf nicht vergessen werden, daß die hier betrachtete Ätherbewegung die allgemeine Strömung des ganzen Mediums ist, oder ihr Äquivalent die gleichförmige Bewegung aller in Betracht kommender Körper, und es ist durchaus nicht gesagt,

---

[1]) Archives Néerlandaises **4**, 443, 1869 und Nature **26**, 500; siehe auch oben Kapitel IV.

daß bei Bewegung von Teilen des Mediums oder bei der künstlichen Bewegung durchsichtiger Körper und anderer getrennter Bereiche nicht Aberrationseffekte entstehen oder vorhandene modifiziert werden. Künstliche Bewegung der Materie kann ohne weiteres die Bahn eines Strahles und die Wegzeit ändern, denn sie muß keiner Potentialbedingung genügen; sie kann eine geschlossene Kurve beschreiben und an der Lichtübertragung teilnehmen.

Aber ich muß wiederholen, daß diese Lichtübertragung durch bewegte Materie nur auf der materiellen Belastung beruht; sie ist keine Störung des Äthers. Das Fresnelsche Gesetz sagt tatsächlich aus, daß bewegte durchsichtige Körper den Äther nicht merklich stören. Der im fünften Kapitel beschriebene direkte Versuch zeigt, daß auch in der Nähe von schnell bewegten undurchsichtigen Körpern keine Störung auftritt.

Für mich ist es eine festgelegte Tatsache, daß der Äther durch bewegte Körper nicht gestört wird.

Zusammenfassung.

In diesem Buche wird, wie schon in „Modern Views of Electricity“ die Ansicht vertreten, daß der Weltäther eine kontinuierliche, inkompressible, ruhende Ursubstanz oder vollkommene Flüssigkeit ist, mit etwas, das einem Trägheitskoeffizienten von 10^{12} g pro ccm gleichwertig ist; daß die Materie aus modifizierten und elektrisierten Ätherpunkten oder kleinen Ätherstrukturen besteht, die sowohl mechanischen wie auch elektrischen Kräften unterworfen sind und zu der optischen oder elektrischen Dichte des Mediums beitragen; und daß die elastische Steifheit und alle potentielle Energie auf außerordentlich feinkörnigen Ätherrotationen beruhen, die eine innere kinetische Energie von der Größenordnung 10^{33} Erg pro ccm besitzen.

Erster Anhang.

Über Gravitation und Ätherspannung.

In dem Rechenbeispiel des neunten Kapitels berücksichtigten wir nur die Kraft zwischen zwei Körpern; aber die Newtonsche Spannung, die im achten Kapitel erwähnt wird, bedeutet nicht

diese Kraft selbst, sondern einen gewissen Zustand des Mediums, auf dessen örtlicher Variation die Kraft beruht. Diese Newtonsche Spannung ist viel größer als die Kraft, welche sie hervorruft, und außerdem ist sie in jedem Punkte des Raumes vorhanden, anstatt in einem angezogenen Körper vereinigt zu sein.

Sie wird in der Nähe der Oberfläche einer kugelförmigen Masse ein Maximum; wenn der Radius R und die Gravitationsintensität g ist, dann ist die Spannung an der Oberfläche $T_0 = gR$. In der Entfernung r ist die Spannung $T = \frac{gR^2}{r}$.

Das ergibt sich sofort aus folgendem:

Führen wir das Gravitationsgesetz $F = \gamma \frac{m m'}{r^2}$ ein, so ist die Ätherspannung auf der Erdoberfläche, wie wir sie eben definiert haben:

$$T = \int_R^\infty \frac{\gamma E}{r^2} dr = \frac{\gamma E}{R},$$

so daß die gewöhnliche Gravitationsintensität

$$g = -\frac{dT}{dR} = \frac{\gamma E}{R^2} = {}^4/_3\, \pi \varrho \gamma R.$$

Entsprechend ist die Spannung auf der Oberfläche eines Planeten $T_0 = gR$, oder für verschiedene Planeten proportional ϱR^2.

Die Geschwindigkeit des freien Falles aus dem Unendlichen bis zu einem solchen Planeten ist $\sqrt{2\, T_0}$; die Geschwindigkeit des freien Falles von der Peripherie bis zum Zentrum, bei Annahme gleichmäßig verteilter Dichte, ist $\sqrt{T_0}$, und aus dem Unendlichen bis zum Zentrum $\sqrt{3\, T_0}$.

In Worten heißt das: Die Ätherspannung muß an der Erdoberfläche von der Größenordnung 6×10^{11} CGS-Einheiten sein, wenn durch ihre Veränderlichkeit die Gravitation erklärt werden soll; in der Nähe der Sonne muß sie 2500 mal so groß sein (S. 70). Allgemein ist sie bei verschiedenen Kugeln proportional zur Dichte und Oberfläche. Daher ist sie bei einer Kugel von 1 Zoll Durchmesser von der Größenordnung 10^{-6}, bei einem Atom oder Elektron von der Größenordnung 10^{-21} CGS.

Wenn die Spannung jemals zu dem Betrage der inneren Energie des Äthers anwachsen würde, die, wie wir sahen, 10^{33} Dyn pro qcm beträgt (oder Erg pro ccm) oder 10^{22} t Gewicht pro qmm, dann ist wohl anzunehmen, daß ein Bruch erfolgen müßte. Aber wir kennen keine Masse, die nur annähernd eine solche Spannung hervorruft.

Schon eine viel kleinere Masse würde Körpern, die aus großer Entfernung auf sie stürzen, Lichtgeschwindigkeit erteilen; und es kann angezweifelt werden, ob eine Masse, die dazu imstande ist, in einem Stück existieren kann.

Um die kritische Spannung, die mutmaßlich den Äther zerreißen würde, hervorzurufen (10^{33} CGS), wäre eine Kugel von der Erddichte mit einem Radius von acht Lichtjahren nötig. Um beim freien Falle Lichtgeschwindigkeit erteilen zu können, müßte eine Kugel von Erddichte einen Radius haben gleich der Entfernung zwischen Sonne und Erde oder 26000 Erdradien. Bei geringerer Dichte müßte die Oberfläche im gleichen Verhältnis vergrößert werden, so daß ϱR^2 konstant bleibt.

Das ganze sichtbare Weltall innerhalb einer Parallaxe von $^1/_{1000}$ Bogensekunde, das Lord Kelvin auf 10^9 Sonnen geschätzt hat, wäre noch ganz unzureichend, um die kritische Ätherspannung von 10^{33} CGS hervorzurufen, es müßte denn ganz unsinnig konzentriert sein; aber es könnte bei einer Dichte, die ungefähr gleich der des Wassers ist, Lichtgeschwindigkeit erzeugen, wenn die Masse konstant wäre.

Wenn die mittlere Dichte des oben genannten sichtbaren Weltalls (die zu $1{,}6 \times 10^{-23}$ g pro ccm angenommen werden kann) sich ohne Grenzen ausdehnen würde, dann würde die Bruchspannung des Äthers bei einem Radius von 10^{13} Lichtjahren erreicht, und Lichtgeschwindigkeit würde bei einem Radius von 10^7 Lichtjahren erzielt. Bei Heterogenität würden diese Werte leichter erreicht werden.

Es wird also angenommen, daß Gravitation die Folge einer mechanischen Spannung ist, die sich, vielleicht augenblicklich, durch den Raum verbreitet, jedesmal wenn eine Ätherstruktur, Elektrizitätsmenge genannt, sich bildet; die Spannung ist direkt proportional mit dem Quadrate der Elektrizitätsmenge und umgekehrt proportional mit ihrer linearen Ausdehnung. Die

Kohäsion ist etwas ganz anderes, sie beruht auf einer zurückgebliebenen elektrischen Anziehung zwischen Gruppen neutraler Moleküle in molekularen Abständen: eine Variation oder Modifikation von chemischer Verwandtschaft.

Zweiter Anhang.

Berechnungen mit Hilfe der Ätherdichte.

Ebenso wie die Steifheit des Äthers rein elektrischer Art ist und mechanisch nicht verspürt werden kann — mechanisch ist er eine vollkommene Flüssigkeit —, so hat auch seine Dichte elektromagnetischen Charakter und kann ebensowenig mechanisch wahrgenommen werden. Er ist weitaus der stationärste Körper, den es gibt; obwohl er analog einem Wirbel mit hoher, innerer lokaler Bewegungsenergie begabt ist, die ihm Kreiseleigenschaften verleiht.

Optisch kann beides wahrgenommen werden, seine Steifheit wie seine Dichte, denn optische Störungen sind dem Wesen nach elektrisch. Die Materie belastet den Äther optisch nach Maßgabe des schon besprochenen Bruches $\frac{\mu^2 - 1}{\mu^2}$, und da diese Belastung ein Teil von der Materie ist, so muß sie sich natürlich mit ihr bewegen. Dies ist das einzige, was der mechanischen Kraft zugänglich ist.

Die mechanische Dichte der Materie ist ein sehr kleiner Teil der Ätherdichte; nicht so klein dagegen ist die optische oder elektrische Dichte der Materie, die wirklich die Ätherdichte durch die innere Elektrizität der Materie beeinflußt. Die relative, optische, virtuelle Ätherdichte innerhalb der Materie wird durch μ^2 angegeben, aber sie könnte in Wirklichkeit geringere Elastizität sein, wenigstens in unmagnetischen Stoffen.

Elektrische und optische Wirkungen hängen von e ab. Mechanische oder Trägheitswirkungen hängen von e^2 ab. Elektrizitätsmengen können den Äther ganz merklich optisch laden; aber was mechanische Belastung anbetrifft, so ist der dichteste Stoff nur eine unbedeutende Spinnwebe im Vergleich mit dem Uräther im selben Raume.

Die Dichtigkeit des Äthers, abgeleitet aus elektrischen Prinzipien.

Jedes Elektron, das sich wie eine Kugel in einer Flüssigkeit bewegt, ist mit einer gewissen Masse verbunden, die von seiner Größe und bei sehr hohen Geschwindigkeiten auch von seiner Geschwindigkeit abhängt.

Wenn wir das Elektron nur als eine Kugel auffassen, die sich in einer vollkommenen Flüssigkeit bewegt, so verhält es sich genau so, als ob seine Masse um die Hälfte der verdrängten Flüssigkeitsmasse vergrößert und die umgebende Flüssigkeit nicht vorhanden wäre.

Da der Äther inkompressibel ist, muß die Dichte der Flüssigkeit innerhalb und außerhalb des Elektrons dieselbe sein. Behandeln wir es nach dieser einfachsten Weise, so erhalten wir wieder eine Trägheit, die halb so groß ist wie die Trägheit des dem Elektron entsprechenden Flüssigkeitsvolumens, d. h. die effektive Masse ist $2\pi\varrho a^3$, wo ϱ die gleichförmige Dichte ist. Wenn das Elektron nicht Kugelgestalt hat, dann wird der Zahlenfaktor ein anderer, aber die Größenordnung bleibt dieselbe, solange keine scharfen Ecken vorhanden sind.

Wenn wir aber das Elektron als Erzeuger von kreisförmigen, magnetischen Induktionslinien betrachten und die ganze magnetische Trägheit den längs seinem Wege erzeugten magnetischen Wirbeln zuschreiben — wobei wir einstweilen die Wirbel als eine tatsächliche, durch die Fortbewegung hervorgerufene Flüssigkeitszirkulation betrachten wollen —, dann müssen wir folgendermaßen vorgehen:

Ein kugelförmiges Elektron e vom Halbmesser a fliege mit mäßiger Geschwindigkeit u, so daß das magnetische Feld $r\theta$ in jedem Punkte außerhalb

$$H = \frac{e u \sin\theta}{r^2}$$

ist und die Energie in der Volumeinheit überall $\frac{\mu H^2}{8\pi}$.

Ein Magnetfeld wird aber von vielen Mathematikern als eine mit unbekannter Geschwindigkeit erfolgende Zirkulation einer Flüssigkeit längs den magnetischen Kraftlinien, die immer geschlossene Kurven sind, aufgefaßt.

So kann die Energie pro Volumeinheit durch die folgenden gleichwertigen Ausdrücke dargestellt werden:

$$^1/_2\, \varrho\, w^2 = \frac{\mu H^2}{8\pi} = \frac{\mu}{8\pi} \frac{e^2 u^2 \sin^2\theta}{r^4},$$

woraus folgt:

$$\frac{w}{u} = \sqrt{\frac{\mu}{4\pi\varrho}} \frac{e \sin\theta}{r^2}.$$

Die Geschwindigkeit der hypothetischen Zirkulation muß am Äquator der Kugel, wo $r = a$ und $\theta = 90^0$ ist, ein Maximum sein; nennen wir diese Geschwindigkeit w_0, so ist

$$\frac{w_0}{u} = \sqrt{\frac{\mu}{4\pi\varrho}} \frac{e}{a^2}$$

und

$$\frac{w}{w_0} = \frac{a^2 \sin\theta}{r^2}.$$

Der Hauptteil der Zirkulation ist also auf einen Bereich beschränkt, der nicht weit von der Oberfläche des Elektrons entfernt ist.

Die Energie dieser Bewegung ist

$$^1/_2\, \varrho \int_0^\pi \int_a^\infty w^2 . 2\pi r \sin\theta . r\, d\theta . dr.$$

Mit Einführung des obigen Wertes für w ergibt sich hieraus die Energie zu $^4/_3\, \pi \varrho a^3 w_0^2$.

Vergleicht man dies mit einer Masse, die sich mit der Geschwindigkeit u bewegt, so ist

$$m = {^8/_3}\, \pi \varrho a^3 \left(\frac{w_0}{u}\right)^2.$$

Das stimmt mit der einfachen hydrodynamischen Berechnung der effektiven Trägheit überein, wenn $w_0 = {^1/_2} \sqrt{3}\, u$ gesetzt wird, d. h., wenn die Geschwindigkeit des Wirbels, der den Kugeläquator berührt, von derselben Größenordnung ist, wie die Geschwindigkeit der Kugel selbst.

Für die wirkliche Beziehung zwischen w_0 und u müssen wir eine Annahme machen. Wenn die zwei Größen gleich angenommen werden, so ergibt sich die effektiv bewegte Masse zweimal so groß

wie die Elektronenkugel. Wenn w_0 kleiner ist als u, dann wird die Masse der effektiv bewegten Flüssigkeit sogar kleiner als das Volumen eines Elektrons; in diesem Falle muß die Flüssigkeitsdichte ϱ noch viel größer angenommen werden, um die nötige Energie herauszubekommen. Die Äquatorzirkulation w_0 größer als u anzunehmen, ist schwierig, da die erstere durch die letztere hervorgerufen wird; am einleuchtendsten ist es wohl, wenn man sie von derselben Größenordnung annimmt. Setzt man sie gleich, so ist

$$e = a^2 \sqrt{\frac{4 \pi \varrho}{\mu}}$$

und $m =$ die doppelte Kugelmasse.

Alle Berechnungsarten der effektiven Trägheit eines Elektrons führen demnach zu ein und derselben Größenordnung, und diese Trägheit kann man als die Trägheit einer Äthermasse von derselben Größe annehmen. Ein Elektron hat aber einen Durchmesser von 10^{-13} cm und seine Masse ist von der Größenordnung 10^{-27} g. Folglich muß die Dichte seines Materials ungefähr 10^{12} g pro ccm betragen.

Das ist freilich ungeheuer viel; aber wollte man die Zirkulationsgeschwindigkeit unter die Elektronengeschwindigkeit herabdrücken, so würde der Wert für die Dichte dadurch nur vergrößert. Und da die Elektronen sich oft mit einer Geschwindigkeit bewegen, die der Lichtgeschwindigkeit nahe kommt, so kann uns umgekehrt nicht vorgeworfen werden, daß wir die wahrscheinliche Geschwindigkeit der magnetischen Wirbel unterschätzten, wenn wir sie am Hauptumfange des Elektrons von derselben Größenordnung annehmen, wie die Geschwindigkeit des Elektrons selbst, eine Beziehung, die durch Kreiselanalogien wohl angeregt, aber nicht aufgezwungen wird.

Folgen dieser großen Dichte.

Die Amplitude einer Lichtwelle ist auch bei größter Intensität, z. B. in der Nähe der Sonne, wo ihre Energie 2 Erg pro ccm beträgt, nur ungefähr 10^{-17} Wellenlängen. Der maximale, tangentiale Zug, der von dieser Spannung ausgeübt wird, ist von der Größenordnung 10^{11} Atmosphären.

Die hypothetische Lichtzirkulationsgeschwindigkeit, die einer Wellenfläche Bewegungskraft erteilt, ist nach Poyntings Untersuchung 10^{-22} cm pro Sekunde. Die Berechnung findet man in dem Schlußkapitel der neuen Ausgabe von Modern Views of Electricity.

Die angenommene magnetische Strömung längs der Achse eines Solenoids oder eines anderen Magnetfeldes hat, wenn sie wirklich besteht, ungefähr eine Geschwindigkeit von 0,003 cm pro Sekunde oder 4 Zoll pro Stunde für ein Feld von der Intensität 12000 CGS.

Aber es darf nicht angenommen werden, daß diese hypothetische Geschwindigkeit überall so klein ist. Nahe bei dem Elektron ist die Geschwindigkeit der Magnetströmung ungefähr so groß wie die Fortbewegungsgeschwindigkeit des Elektrons selbst, kann sich also der Lichtgeschwindigkeit nähern, vielleicht erreicht sie $^1/_{30}$ Lichtgeschwindigkeit; aber trotzdem ist sie im Abstande von 1 mm schon fast gleich Null, weniger als 1 Millimikron pro Jahrhundert.

In jedem Solenoid liefert die Amperewindungszahl pro Zoll ein Maß für die Geschwindigkeit der hypothetischen magnetischen Zirkulation längs der Achse — einerlei aus was für einem Material der Kern besteht — in Millimikrons pro Sekunde.

(1 Mikron $= 10^{-6}$ m, 1 Millimikron $= 10^{-9}$ m $= 10^{-7}$ cm oder $^1/_{1000000}$ mm.)

Um eine Äthergeschwindigkeit von 1 cm pro Sekunde zu erreichen — die man mit feinen, optischen Anordnungen durch die beschleunigende oder verzögernde Wirkung auf Licht, das längs den magnetischen Kraftlinien läuft, wahrnehmen könnte —, brauchte man ein langes Solenoid, um welches auf jedem Zentimeter 1000 Amp. 3000 mal zirkulierten. Das heißt also, ein langes Feld mit einer Intensität von 4 Millionen CGS-Einheiten.

Mit anderen Worten: jeder Strom längs den magnetischen Kraftlinien, der von der Energie des Magnetfeldes Rechenschaft ablegen könnte, muß eine Geschwindigkeit in Zentimetern pro Sekunde haben, die dem Zahlenwerte nach den viermillionsten Teil der Feldintensität in CGS-Einheiten beträgt.

Dritter Anhang.

Fresnels Gesetz als Spezialfall einer allgemeinen Potentialfunktion.

Die moderne Auffassung des Fresnelschen Gesetzes kann folgendermaßen ausgedrückt werden:

In dem von der Materie eingenommenen Raume sind außer dem allgemeinen Weltäther noch gewisse modifizierte oder elektrisierte Stellen enthalten, welche die materiellen Atome bilden. Diese geladenen Teilchen zeigen bei Bewegung eine Trägheit, die von dem umgebenden Magnetfelde herrührt. Und wegen dieser Eigenschaft und als Folge ihrer Zusammenhanglosigkeit vergrößern sie virtuell die optische Dichte des Äthers, indem sie wie Gewichte wirken, die an einer biegsamen Schnur angeordnet sind. Sie verkleinern die Lichtgeschwindigkeit im Verhältnis des Brechungsindex $\mu:1$; man kann daher auch sagen, daß sie die virtuelle Dichte des Äthers im Verhältnis $1:\mu^2$ vergrößern.

Das heißt, ihre Belastung bewirkt, daß der Äther sich zu optischen Wellen so verhält, als ob er eine μ^2 mal so große Dichte hätte als außerhalb der Materie, wenn er ein homogenes Medium ohne diese unzusammenhängenden Ladungen wäre. Bezeichnen wir die Dichte außerhalb der Materie mit 1, dann muß die Dichte innerhalb $\mu^2 - 1$ sein, um insgesamt μ^2 zu sein.

Der $(\mu^2 - 1)$-Teil ist das, was wir Materie nennen, und dieser Teil ist imstande, sich fortzubewegen, da er mechanischer Kraft unterworfen ist, d. h. durch sie beschleunigt wird. Der freie Teil von der normalen Dichte 1 ist absolut ruhend, was Fortbewegung anbetrifft, sei es nun innerhalb oder außerhalb des Raumes, den die Materie einnimmt, denn er gehorcht weder mechanischen noch elektrischen Kräften. Er überträgt sie, aber nimmt sie niemals auf; ausgenommen allerdings bei dem merkwürdigen Gebilde, Wellenfläche genannt, das einige Eigenschaften der Materie nachahmt.

(Wenn freier, unmodifizierter Äther überhaupt je bewegt werden kann, so könnte das nur durch ein magnetisches Feld geschehen, längs dessen Kraftlinien er ja nach einigen Theorien zirkulieren soll. Aber eine richtige Fortbewegung ist auch das nicht.)

Fizeau untersuchte die direkte Folgerung dieser Theorie, die unter dem Namen Fresnelsches Gesetz bekannt ist, und stellte

durch das Experiment fest, daß ein Lichtstrahl durch einen Wasserstrom beschleunigt oder verzögert werde, je nachdem er sich mit oder gegen den Strom bewegt. Der Größe nach war der Effekt genau durch das Verhältnis des beweglichen Ätherteiles zum Gesamtäther bestimmt, indem der Bruchteil $\frac{\mu^2 - 1}{\mu^2}$ der Wassergeschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit hinzukam oder davon abgezogen wurde, je nachdem der Strahl stromab oder stromauf gesandt wurde.

Man kann es auch auf andere Weise darstellen, aber das Ergebnis bleibt dasselbe.

Denn anstatt zu sagen, daß ein modifizierter Teil des Äthers sich mit voller Körpergeschwindigkeit bewegt, während der Rest in Ruhe ist, kann man für manche Zwecke annehmen, daß der ganze innere Äther sich mit einem Bruchteil der Körpergeschwindigkeit bewegt.

Nach dieser Auffassung ist der Äther außerhalb des bewegten Körpers zwar auch absolut ruhend, aber man kann sich vorstellen, daß er sich beim Vorwärtsschreiten des Körpers vor demselben stets verdichtet und hinter ihm verdünnt; während er in seinem verdichteten Zustande durch den Körper gerade mit solcher Geschwindigkeit hindurchströmt, daß das, was der normalen Quantität des Äthers entspricht, vollkommen ruhend bleibt. Dazu muß seine Geschwindigkeit in bezug auf den Körper nach rückwärts $\frac{u}{\mu^2}$ sein, und dementsprechend nach vorwärts $u\left(1 - \frac{1}{\mu^2}\right)$.

Um dies zu erläutern, werde eine materielle Platte angenommen, die sich, mit der flachen Seite nach vorn, mit der Geschwindigkeit u bewegt; ihre innere Ätherdichte sei μ^2 und der äußere Äther von der Dichte 1 sei ruhend. Die Geschwindigkeit des inneren Äthers im Raume nach vorwärts sei xu, so daß ein Lichtstrahl mit dieser Geschwindigkeit vorwärts eilen würde. Nun wollen wir uns vorstellen, daß zwei parallele Ebenen sich mit der Platte bewegen, eine vor ihr, die andere in ihr, und wollen die Tatsache ausdrücken, daß die Äthermasse zwischen diesen Ebenen konstant bleiben muß. Die Menge, welche durch die erste Ebene relativ rückwärts strömt, wird durch u mal die äußere Dichte angegeben, während die Menge, welche durch die zweite Ebene relativ rückwärts strömt $(u - xu) \times$ innere Dichte ist. Die beiden

Mengen müssen gleich sein oder $u \times 1 = (u - xu) \times \mu^2$. Hieraus folgt

$$x = \frac{\mu^2 - 1}{\mu^2},$$

und das ist das Fresnelsche unbestreitbare Gesetz für die konvektive Wirkung eines bewegten durchsichtigen Körpers auf das Licht im Innern.

Allgemeiner und für alle Richtungen des Strahles gültig kann nach dem zehnten Kapitel die Sache folgendermaßen behandelt werden.

Im Innern eines durchsichtigen Körpers wandert das Licht mit der Geschwindigkeit $\frac{V}{\mu}$; der Äther, der außen mit der Geschwindigkeit v unter einem Winkel θ zur Strahlrichtung strömt, möge innen mit der Geschwindigkeit v' unter einem Winkel θ' strömen.

Die Strahlgleichung innerhalb eines solchen Stoffes ist daher

$$T' = \int \frac{ds}{\frac{V}{\mu}\cos\varepsilon' + v'\cos\theta'} = \text{min},$$

wo

$$\frac{\sin\varepsilon'}{\sin\theta'} = \frac{v'}{\frac{V}{\mu}} = a'.$$

Das kann auch geschrieben werden:

$$T' = \int \frac{\cos\varepsilon'\, ds}{\frac{V}{\mu}(1 - a'^2)} - \int \frac{v'\cos\theta'\, ds}{\frac{V^2}{\mu^2}(1 - a'^2)}.$$

Nur das zweite Glied enthält die Bewegung in der ersten Potenz; setzt man $\mu^2 v \cos\theta' = \frac{d\Phi'}{ds}$ und nimmt man an, daß a' so klein ist, daß man seine Variationen vernachlässigen kann, so wird der Ausdruck

$$T' = \mu T \frac{\cos\varepsilon'}{1 - a'^2} - \frac{\Phi'_B - \Phi'_A}{V^2(1 - a'^2)},$$

wobei T die Wegzeit bei leerem Raum ist. Wenn nun die Wegzeit und die Strahlbahn, wie immer sie auch durch den dichten Körper beeinflußt werden mögen, durch Ätherströmungen in dem

Körper nicht mehr beeinflußt werden, als ob statt des Körpers leerer Raum vorhanden wäre, dann muß die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten A und B dieselbe sein, ob der Zwischenraum mit dichtem Stoff angefüllt ist oder nicht (oder ob, wie man auch sagen kann, die Strahlbahn durch ein dichtes Medium oder außerhalb desselben geht). Mit anderen Worten (wobei mit Φ die äußere Potentialfunktion, mit Φ' die innere bezeichnet wird): wenn T' sich von μT nicht um einen Ausdruck unterscheiden soll, der die Bewegung in der ersten Potenz enthält, dann muß notwendig $\Phi'_B - \Phi'_A$ gleich sein $\Phi_A - \Phi_B$, d. h. das Potential innerhalb und außerhalb der Materie muß bis auf eine Konstante gleich sein oder $\mu^2 v' \cos\theta' = v \cos\theta$, und das ist die Fresnelsche Hypothese für den Fall einer Strömung längs einem Strahle.

Man kann die Sache auch so drehen, daß man sagt, bei der ersten Potenz der Strömungsgeschwindigkeit ist

$$T' = \mu T - \int (\mu^2 v' \cos\theta' - v \cos\theta) \frac{ds}{V^2},$$

und das zweite oder Störungsglied muß verschwinden.

Fresnels Hypothese, betreffend den Äther innerhalb der Materie, ist gleichbedeutend mit der Annahme, daß eine Potentialfunktion $\int \mu^2 v \cos\theta \, ds$ im ganzen durchsichtigen Raume existiert, soweit Bewegung des Äthers allein in Frage kommt.

Unter dieser Bedingung kann kein Interferenzeffekt erster Ordnung der Ätherströmung an ruhenden Körpern erhalten werden, indem man Strahlen auf irgend einer geschlossenen Bahn wandern läßt; auch kann die Bahn eines Strahles durch Ätherströmung in ruhender Materie nicht abgelenkt werden. Eine beobachtete Sternenaberration kann daher dadurch nicht geändert werden, daß man das Fernrohr mit Wasser füllt.

Die Strahlgleichung in einem durchsichtigen Stoffe, der sich in einer Richtung Φ mit einer Geschwindigkeit u bewegt, und einer unabhängigen Ätherströmung von der Geschwindigkeit v in der Richtung θ ausgesetzt ist, lautet:

$$\int \frac{ds}{\frac{V}{\mu} \cos\varepsilon + \frac{v}{\mu^2} \cos\theta + u\left(1 - \frac{1}{\mu^2}\right) \cos\Phi} = const.$$

Lehmann, Prof. Dr. Otto, **Das Kristallisationsmikroskop** und die damit gemachten Entdeckungen, insbesondere die der flüssigen Kristalle. Mit 48 Abbild. im Text und auf einer Tafel. VII, 112 S. gr. 8°. 1910. ℳ 3,—.

Lorentz, H. A., **Sichtbare und unsichtbare Bewegungen.** Vorträge, auf Einladung des Vorstandes des Departements Leiden der Maatschappij tot nut van't algemeen im Februar und März 1901 gehalten. Unter Mitwirkung des Verfassers aus dem Holländischen übersetzt von G. Siebert. **2.** vom Verfasser revidierte Auflage. Mit 40 Abbild. VII, 123 S. gr. 8°. 1910. ℳ 3,—, in Lnwdbd. ℳ 4,—.

Reychler, Prof. Dr. A., **Physikalisch-chemische Theorieen.** Nach der 3. Auflage des Originals bearbeitet von Dr. B. Kühn. Mit Abbild. XII, 389 S., 1 Kurventafel und 1 Tabelle. gr. 8°. 1903.
ℳ 9,—, in Lnwdbd. ℳ 10,—.

Rundschau, Naturwissenschaftliche. Wöchentliche Berichte über die Fortschritte auf dem Gesamtgebiete der Naturwissenschaften. Unter Mitwirkung der Professoren Dr. J. Bernstein, Dr. W. Ebstein, Dr. A. v. Koenen, Dr. E. Lampe, Dr. Victor Meyer (bis 1897), Dr. Richard Meyer, Dr. B. Schwalbe (bis 1901) und anderer Gelehrter herausgegeben von Prof. Dr. W. Sklarek. XXVI. Jahrgang. 1911. *Im Erscheinen.*
Vierteljährl. ℳ 5,—.

Schaik, W. C. L. van, **Wellenlehre und Schall.** Autorisierte deutsche Ausgabe bearbeitet von Professor Dr. Hugo Fenkner. Mit 176 Abbild. XI, 358 S. gr. 8°. 1902. ℳ 8,—, in Lnwdbd. ℳ 9,—.

Tyndall, John, **Fragmente aus den Naturwissenschaften.** Vorlesungen und Aufsätze. **2.** autorisierte deutsche Ausgabe, nach der 8. Auflage des englischen Originals übersetzt von A. v. Helmholtz und E. du Bois-Reymond. In zwei Bänden. gr. 8°.
I. Band. Anorganische Natur. VII, 514 S. 1898.
ℳ 8,—, in Hlbfrzbd. ℳ 9,50.
II. Band. V, 522 S. 1899. ℳ 8,—, in Hlbfrzbd. ℳ 9,50.

——— **Fragmente, Neue Folge.** Übersetzt von A. v. Helmholtz und E. du Bois-Reymond. Mit einem Porträt. 3 Bl., 566 S. gr. 8°. 1895.
ℳ 8,—, in Hlbfrzbd. ℳ 9,50.

——— **Das Licht.** Sechs Vorlesungen. Autorisierte deutsche Ausgabe, bearbeitet von Clara Wiedemann. Mit einem Vorwort von Gustav Wiedemann. **2.** Auflage. Mit einem Porträt von Thomas Young und 57 Abbildungen. XV, 267 S. gr. 8°. 1895.
ℳ 6,—, in Hlbfrzbd. ℳ 7,50.

——— **Der Schall.** Autorisierte deutsche Ausgabe nach der 6. englischen Auflage des Originals bearbeitet von A. v. Helmholtz und Cl. Wiedemann. Mit 204 Holzstichen. **3.** Auflage. XXII, 548 S. gr. 8°. 1897.
ℳ 10,—, in Hlbfrzbd. ℳ 11,50.